BRGM

manuel d'utilisation du logiciel ISAPE

Interprétation Semi-Automatique des Pompages d'Essai

B.R.G.M.
28 JAN 1987
BIBLIOTHÈQUE

BRGM

manuel d'utilisation du logiciel ISAPE

Interprétation Semi-Automatique des Pompages d'Essai

Ph. Crochet
Ph. Leblanc
M.-L. Noyer

décembre 1986
86 SGN 714 EAU

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Eau
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: 38.64.34.34

RESUME

Les études prospectives de gestion et de simulation hydrogéologiques nécessitent de connaître le comportement hydrodynamique des aquifères étudiés : le pompage d'essai constitue l'un des tests d'investigation classiquement utilisé pour acquérir cette connaissance.

Le logiciel ISAPE (Interprétation Semi-Automatique des Pompages d'Essai) développé au département EAU du BRGM sur ordinateurs DIGITAL VAX 780 (consoles graphiques VT100), IBM PC et compatibles, a été conçu dans l'objectif d'améliorer :

- **la fiabilité de l'interprétation** : prise en compte des variations de débit, des effets de puits, choix parmi plusieurs modèles hydrogéologiques ;
- **la facilité d'utilisation** : convivialité totale avec procédures d'assistance à l'utilisateur - utilisation des possibilités graphiques permettant une interprétation simple et rapide par comparaison visuelle entre la courbe calculée et la courbe expérimentale.

Le présent rapport fait une description complète du logiciel dans sa configuration actuelle. Il est constitué de cinq parties que le lecteur pourra consulter indépendamment les unes des autres :

1 - Présentation générale du logiciel ISAPE
2 - Conseils pratiques pour la conduite des interprétations à l'aide du logiciel ISAPE
3 - Influence des différents paramètres de calage sur la forme des courbes théoriques calculées
4 - Notice d'utilisation du préprocesseur SAIPE
5 - Notice d'utilisation du logiciel ISAPE.

De nouvelles méthodes d'interprétation sont en cours de test et seront prochainement introduites : elles feront l'objet d'un rapport annexe.

SOMMAIRE

Pages

RESUME

I - PRESENTATION GENERALE DU LOGICIEL ISAPE 3

I.1 - Objectifs du logiciel ISAPE 3
I.2 - Principe de fonctionnement 5
I.3 - Schémas d'interprétation développés 5
I.4 - Principe d'utilisation : ISAPE, logiciel convivial 7
I.5 - Formulation générale du calcul du rabattement théorique 9
I.6 - Exemples d'interprétation illustrant les possibilités du logiciel ISAPE 17
I.7 - Conclusion - Les avantages du logiciel ISAPE 18

II - CONSEILS PRATIQUES POUR LA CONDUITE DES INTERPRETATIONS A L'AIDE DU LOGICIEL ISAPE 19

II.1 - Choix d'un modèle d'interprétation 21
II.2 - Choix des paramètres géométriques du modèle 24
II.3 - Effets de puits 27
II.4 - Choix des paramètres hydrodynamiques T et S 31
II.5 - Obtention du calage définitif 31

III - INFLUENCE DES DIFFERENTS PARAMETRES DE CALAGE SUR LA FORME DES COURBES THEORIQUES CALCULEES 35

III.1 - Influence du paramètre transmissivité 35
III.2 - Influence du paramètre coefficient d'emmagasinement 37
III.3 - Limite inférieure de validité du coefficient d'emmagasinement 39
III.4 - Influence de variations simultanées inverses des paramètres T et S 41
III.5 - Influence du paramètre rayon d'observation 43
III.6 - Influence de limites étanches (alimentées) 45
III.7 - Influence de la combinaison d'une limite étanche et d'une limite alimentée 47
III.8 - Influence des paramètres de calage spécifiques à la méthode de fracture unique 49
III.9 - Influence du coefficient de perte de charge (au puits de pompage) 51

Pages

IV - NOTICE D'UTILISATION DU PREPROCESSEUR SAIPE 55

IV.1 -Généralités 55
IV.2 -Mode d'utilisation : création d'un fichier de données 55

IV.2.1 - **Appel du logiciel (procédure VAX)** 55
IV.2.2 - **Dénomination du fichier à traiter** 57
IV.2.3 - **Définition des paramètres généraux** 59
IV.2.4 - **Correction éventuelle du titre saisi** 59
IV.2.5 - **Nature des données de niveau** 63
IV.2.6 - **Choix des unités des données expérimentales** 63
IV.2.7 - **Saisie des données expérimentales** 65

IV.3 -Mode d'utilisation : Modification d'un fichier créé, lors d'une saisie antérieure, à l'aide de SAIPE 71

V - NOTICE D'UTILISATION DU LOGICIEL ISAPE 77

V.1 - Présentation générale du programme 77

V.1.1 - **Introduction** 77
V.1.2 - **Présentation d'une page** 78
V.1.3 - **Principe de la saisie et des corrections** 79

V.2 - Déroulement du programme 81

V.2.1 - **Appel du logiciel (procédure VAX)** 81
V.2.2 - **Page 00** 81
V.2.3 - **Page 01** 83
V.2.4 - **Page 02** 83
V.2.5 - **Page 03** 87
V.2.6 - **Page 04** 87
V.2.7 - **Page 05** 87
V.2.8 - **Page 06** 97
V.2.9 - **Page 07** 99
V.2.10 - **Début de la phase d'interprétation : accès au menu principal** 101

BIBLIOGRAPHIE 115

Liste des figures

		Pages
Figure 1.1 -	Structure du logiciel ISAPE	6
Figure 1.2 -	Principe de la convolution sur les débits	10
Figure 1.3 -	Ordinogramme simplifié	14
Figure 1.4 -	Exemple de réalisation d'un calage	16
Figure 1.5 -	Exemple d'un calage réalisé en prenant en compte un effet de limite d'alimentation	16
Figure 1.6 -	Exemple d'un calage réalisé pour un essai fortement perturbé par des variations de débit	16
Figure 2.1 -	Démarche suivie pour l'interprétation d'un pompage d'essai à l'aide du logiciel ISAPE	22
Figure 2.2 -	Cas n°1 - Limites et fracture parallèles	28
Figure 2.3 -	Cas n°2 - Fracture perpendiculaire aux limites et recoupant ces limites	29
Figure 2.4 -	Exemple de différents schémas réels aboutissant à un même schéma théorique d'interprétation	30
Figure 3.1 -	Rabattements calculés pour des transmissivités croissantes	34
Figure 3.2 -	Agrandissement de début des courbes de descente	34
Figure 3.3 -	Rabattements calculés pour des coefficients d'emmagasinement croissants	36
Figure 3.4 -	Agrandissement du début des courbes de descente	36
Figure 3.5 -	Rabattements calculés pour des transmissivités décroissantes et des coefficients d'emmagasinement croissants	40
Figure 3.6 -	Rabattements calculés pour des rayons d'observation croissants	42
Figure 3.7 -	Influence de limites étanches	44
Figure 3.8 -	Influence de limites alimentées	44
Figure 3.9 -	Influences combinées d'une limite étanche située à la distance d1 et d'une limite alimentée située à la distance d2, tel que d1 < d2	46
Figure 3.10 -	Influences combinées d'une limite alimentée située à la distance d1 et d'une limite étanche située à la distance d2, tel que d1 < d2	46

Pages

Figure 3.11 - Rabattements calculés pour des contrastes de transmissivités croissants 48

Figure 3.12 - Rabattements calculés pour des demi-longueurs de fracture croissantes 48

Figure 3.13 - Rabattements calculés pour des pertes de charge quadratiques croissantes 50

Figure 4.1 - Dénomination du fichier à traiter 56

Figure 4.2 - Définition des paramètres généraux 58

Figure 4.3 - Rappel du titre saisi 60

Figure 4.4 - Correction éventuelle du titre saisi 61

Figure 4.5 - Nature des données de niveau 62

Figure 4.6 - Choix des unites des données expérimentales 64

Figure 4.7 - Saisie des données expérimentales 66

Figure 4.8 - Fin de la phase de correction 70

Figure 4.9 - Création d'un fichier listing et fin d'exécution du programme 72

Figure 4.10 - Correction de l'entête d'un fichier brut précédemment créé 74

Figure 5.1 - Saisie du nom du fichier à traiter 80

Figure 5.2 - Informations générales sur le pompage traité 82

Figure 5.3 - Saisie des paramètres de lecture du fichier de données 84

Figure 5.4 - Informations sur les caractéristiques des paliers de débit 86

Figure 5.5 - Choix de la méthode d'interprétation 88

Figure 5.6 - Définition de la géométrie (méthode de Theis) 90

Figure 5.7 - Définition de la géométrie (méthode de Theis + limites) 91

Figure 5.8 - Modèle à deux limites parallèles - Vue en plan horizontal 92

Figure 5.9 - Définition de la géométrie (méthode de fracture unique) 94

Figure 5.10 - Modèle de fracture unique - Vue en plan horizontal 95

Figure 5.11 - Prise en compte des effets de puits 96

Figure 5.12 - Description de la fenêtre du tracé 100

Pages

Figure 5.13 - Tracé d'une courbe théorique avec les paramètres $T = 1{,}5.10^{-4}$ m^2/s, $S = 5.10^{-5}$ (méthode 4 = méthode de fracture unique + limites) 102

Figure 5.14 - Consultation d'une page au cours de l'interprétation 104

Figure 5.15 - Modification d'une page en cours d'interprétation 106

Figure 5.16 - Envoi du dessin sur traceur 108

Figure 5.17 - Rappel des paramètres de l'ajustement communs à toutes les méthodes d'interprétation 110

Figure 5.18 - Paramètres de l'ajustement propres à la méthode de fracture unique 112

Liste des tableaux

Tableau 3.1 - Emmagasinement limite exprimé en fonction de la compressibilité matricielle Cm de différentes roches et de l'épaisseur de la formation testée 38

Tableau 3.2 - Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres de calage sur la forme des courbes théoriques calculées 52

CHAPITRE I

PRESENTATION GENERALE DU LOGICIEL ISAPE

I - PRESENTATION GENERALE DU LOGICIEL ISAPE

I.1 - OBJECTIFS DU LOGICIEL ISAPE

Les études prospectives de gestion et de simulation hydrogéologique nécessitent de connaître le comportement hydrodynamique plus ou moins complexe de l'aquifère étudié : le pompage d'essai constitue l'un des tests d'investigation classiquement utilisé pour acquérir cette connaissance. Interpréter un pompage d'essai consiste à rechercher les paramètres hydrodynamiques T et S (transmissivité et coefficient d'emmagasinement) ainsi que la structure (extension, degré d'hétérogénéité, degré d'anisotropie...) du système aquifère sollicité.

Lors de l'interprétation des pompages, trois problèmes majeurs doivent être pris en compte :

1 - Choix d'un schéma qui se rapproche le mieux du cas réel à traiter, qu'il s'agisse des conditions relatives au puits ou de celles relatives à la géométrie de l'aquifère sollicité.

2 - Une fois ce choix effectué, un écart subsiste entre les conditions réelles et celles du modèle schématique imaginé pour rendre l'interprétation possible. Les effets perturbateurs qui en sont la cause ont des origines multiples et peuvent se superposer. Il est possible de les classer en trois catégories :
   a. Effets propres à l'environnement naturel de l'aquifère (effets de marée, variations de pression barométrique...).
   b. Effets propres aux caractéristiques de forage (effet de capacité, pertes de charge...).
   c. Effets propres aux conditions techniques de réalisation du pompage, du suivi et de la collecte des données ; (variations de débit, vidange de la colonne de refoulement, précision des mesures elle-même fonction du matériel utilisé et de l'opérateur qui le met en oeuvre).

3 - Les solutions analytiques, parfois complexes, proposées par les auteurs, font intervenir à la fois paramètres hydrodynamiques et paramètres géométriques et aboutissent à des abaques sur lesquels il

se révèle difficile d'effectuer des calages de courbes expérimentales. Les méthodes "manuelles" réclament un temps assez long pour leur mise en oeuvre, elles sont donc coûteuses et fournissent des résultats dont l'objectivité n'est pas certaine.

Les moyens informatiques actuels offrent de nombreux avantages qu'il est apparu intéressant d'utiliser pour développer un nouvel outil d'interprétation :

. **Une fois l'information** saisie et sauvegardée, celle-ci peut être restituée sous n'importe qu'elle forme et à n'importe quel moment. De plus, l'évolution vers des systèmes de saisie automatique sur le terrain (Ex. : MADO/BRGM) supprime l'étape fastidieuse de la saisie au clavier, source d'erreur et de perte de temps.

. **L'interprétation des pompages** est facilitée par :
  - La rapidité des calculs qui permet la prise en compte de l'ensemble des effets perturbateurs habituellement négligés.
  - L'exploitation des possibilités de l'informatique graphique qui accroît le confort d'utilisation des logiciels.

La création du logiciel ISAPE répond à trois objectifs principaux :

a - Normalisation

- dans la conduite des pompages d'essai et dans la collecte des données (temps, débit, rabattement),
- dans l'interprétation des pompages d'essai.

b - Fiabilité de l'interprétation accrue

- par la suppression de la subjectivité, que revêt tout calage manuel d'une courbe expérimentale sur des abaques (les interprétations sont reconductibles d'un utilisateur à l'autre),
- par la réunion dans un même logiciel de plusieurs modèles hydrogéologiques,
- par la prise en compte automatisée des variations de débit et des éventuels effets de puits, permettant l'interprétation dans leur ensemble de pompages complexes.

c - Facilité d'utilisation

- logiciel convivial, avec vérification automatisée des informations saisies et assistance à l'utilisateur (proposition d'une valeur pour chaque paramètre à saisir, procédure d'aide à l'utilisateur (Help) accessibles à chaque phase du programme),
- interprétation simple et rapide par comparaison visuelle entre la courbe calculée et la courbe expérimentale.

I.2 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le programme ISAPE reconstitue l'évolution théorique des niveaux calculés à partir des paramètres hydrogéologiques proposés par l'opérateur en prenant en compte les effets perturbateurs cités précédemment.

Le principe de la conduite de l'interprétation consiste à minimiser graphiquement les écarts entre la courbe expérimentale des rabattements mesurés lors des tests hydrauliques et la courbe calculée par le programme, tout en veillant à la validité des paramètres de calage. Cette conduite est donc fondamentalement différente des interprétations classiques puisque la courbe théorique n'est plus figée mais modelée.

L'opérateur affine par des tirs successifs les paramètres hydrodynamiques et géométriques caractéristiques de l'aquifère étudié, tout en ayant la possibilité d'intégrer tous les phénomènes réels ayant pu survenir lors des pompages : pertes de charge et effet de capacité sur le puits de production, variations du débit durant les pompages, effet de vidange de la colonne de refoulement lors de l'arrêt du pompage, influence de limites plus ou moins distantes.

I.3 - SCHEMAS D'INTERPRETATION DEVELOPPES

Les schémas actuellement développés sont les suivants :

- Le schéma de **Theis** pour un milieu isotrope d'extension infinie.

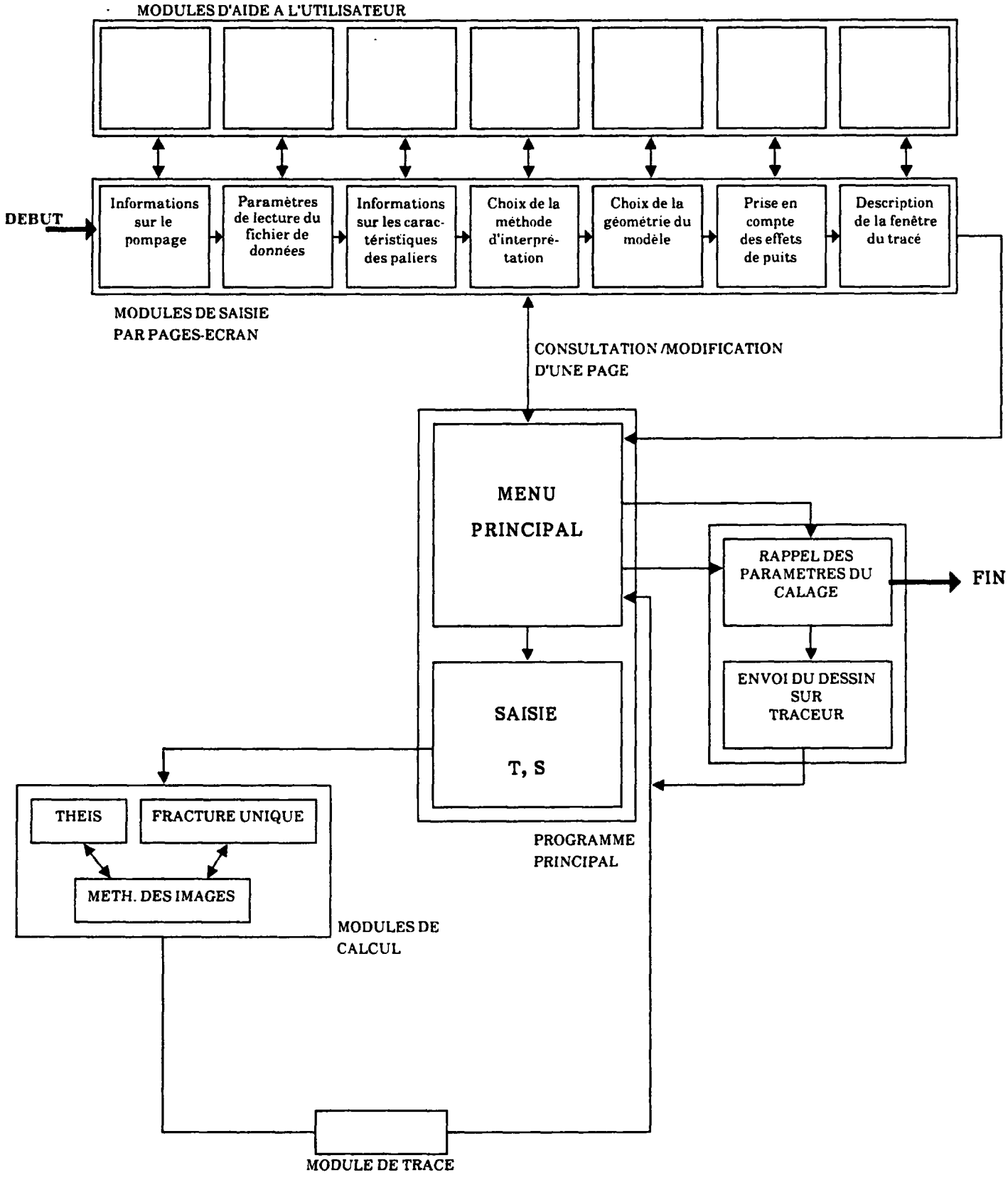


Figure 1.1 - Structure du logiciel ISAPE

- Le schéma de milieu anisotrope (contraste de transmissivité variable), affecté d'une fracture verticale unique recoupant totalement l'aquifère, d'extension infinie (le puits de pompage doit être implanté au centre de la fracture et le piézomètre doit être situé dans l'axe de la fracture).

Ces deux méthodes peuvent être appliquée en prenant en compte la présence de limites parallèles (à flux nul ou à potentiel imposé). Les forages sont supposés traverser complètement l'aquifère tandis que le puits de pompage est assimilé à un puits parfait.

Les évolutions envisagées concernent :

- Le couplage du logiciel avec un modèle maillé de type axisymétrique.

- Le cas de la pénétration partielle dans un aquifère anisotrope (anisotropie verticale/radiale) semi-captif.

- Le cas de la nappe libre prenant en compte la diminution de la hauteur piézométrique (= épaisseur de la nappe) qui implique une diminution de la transmissivité au cours du pompage.

I.4 - PRINCIPE D'UTILISATION : ISAPE, logiciel convivial

L'utilisation du logiciel ISAPE s'effectue entièrement en mode conversationnel avec possibilité d'accès, à chaque étape, à un système d'aide à l'utilisateur. Ce système évite le recours systématique à la notice d'utilisation une fois celle-ci assimilée.

La première phase du travail consiste à créer, à l'aide du préprocesseur de saisie SAIPE, un fichier contenant les informations d'ordre général sur le forage ainsi que les données expérimentales présentées sous la forme d'une succession de triplets (temps, débit, rabattement). Ce fichier est lu par le logiciel ISAPE en début d'interprétation.

ISAPE est structuré (fig. I.1) en une succession de pages-écran : chacune d'entre elles correspond à un module de saisie de données concernant :

- les paramètres régissant la lecture des données dans le fichier de données (format, unités de lecture, unités graphiques),
- le choix d'un modèle d'interprétation et les paramètres géométriques correspondant (la procédure d'aide à l'utilisateur présente une illustration pour chaque modèle et définit en détail la nature et la signification de ces paramètres) ;
- les éventuels effets de puits (effet de capacité, pertes de charge, vidange de la colonne de refoulement) ;
- les caractéristiques de la fenêtre de tracé à l'écran :
  . système de coordonnées de chaque axe (arithmétique, logarithmique),
  . valeurs minimales et maximales des axes de la fenêtre (permettant de réaliser un "zoom" sur une partie de courbe d'un pompage d'essai),
  . nombre de graduations sur chacun des axes.

Pour chaque page, l'utilisateur peut :
- valider directement les paramètres proposés par le logiciel,
- modifier une partie ou l'ensemble des paramètres proposés,
- appeler le système d'aide à l'utilisateur qui fournit des renseignements concernant :
  . le principe de la saisie et des corrections,
  . la signification des paramètres saisis.

Après tracé à l'écran de la courbe expérimentale (ainsi qu'éventuellement de la courbe des débits mesurés), l'utilisateur propose des valeurs de transmissivité et d'emmagasinement. La courbe théorique prenant en compte les caractéristiques du modèle d'interprétation retenu et les particularités du pompage (variations de débit, effets de puits) est calculée automatiquement, puis tracée à l'écran. L'utilisateur procède alors à un ajustement progressif de la courbe théorique sur la courbe expérimentale en jouant sur les différents paramètres de calage. Diverses options d'un menu accessible en interactif permettent, entre autres, d'aller consulter ou modifier une page précédemment saisie (la courbe expérimentale est instantanément corrigée en fonction des modifications apportées), ou d'effacer les courbes des calages précédents en gardant le dernier résultat.

Le graphique résultant de l'interprétation définitive peut être reproduit sur table traçante afin de fournir un document directement insérable dans les rapports. L'utilisateur peut choisir les dimensions du graphique, les symboles de représentation des points expérimentaux et le type de trait de la courbe calculée, ainsi que celui des débits mesurés.

I.5 - FORMULATION GENERALE DU CALCUL DU RABATTEMENT THEORIQUE

1 - Calcul du rabattement théorique en un point quelconque de l'aquifère, en prenant en compte les variations de débit

Un pompage à débit variable peut être représenté schématiquement par une succession de pompages enchaînés à débit constant (fig. I.2). Ces n débits successifs représentent l'impulsion donnée en entrée à l'aquifère testé, le rabattement mesuré correpond à la réponse en sortie. Celui-ci est calculé au temps t, en un point d'observation situé à la distance r du puits de pompage grâce au principe de superposition : les n débits successifs sont convolués jusqu'au temps t avec la "fonction réponse" F caractéristique du système hydrodynamique sollicité :

$$s(r, t, n) = \sum_{i=1}^{n} [(Q_i - Q_{i-1}) \cdot F(r, t - t_{i-1})]$$

avec n : nombre de variations de débit entre le début du pompage et le temps t

$t_{i-1} \leq t \leq t_i$

Q_i : débit (L^3/T) mesuré au temps t_i

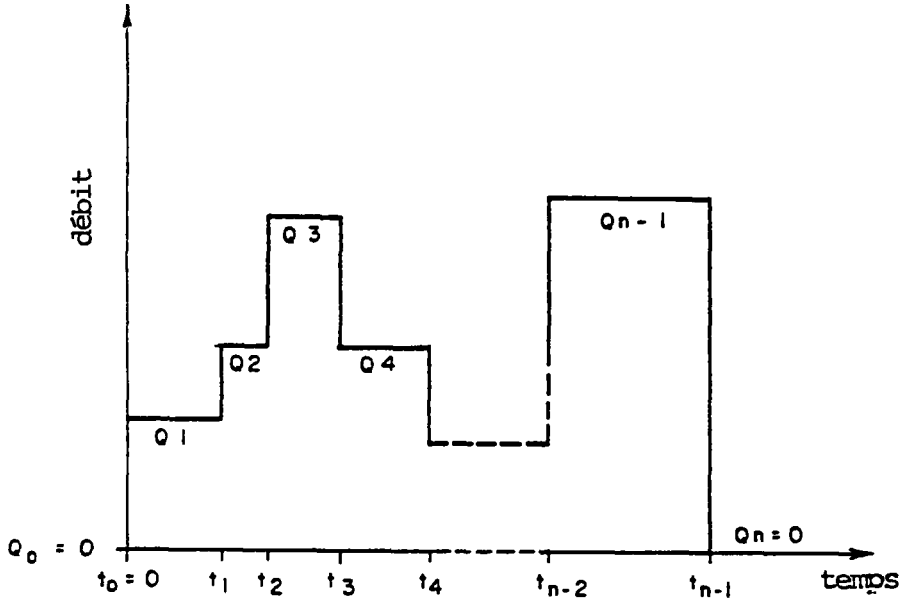
Cette formulation équivaut à additionner les effets de n pompages virtuels réalisés sur le même puits et débutant de manière échelonnée dans le temps, avec un débit prélevé $Q_i - Q_{i-1}$ du temps t_{i-1} au temps t_i pour le pompage n°i.

2 - Calcul du rabattement théorique au puits de pompage

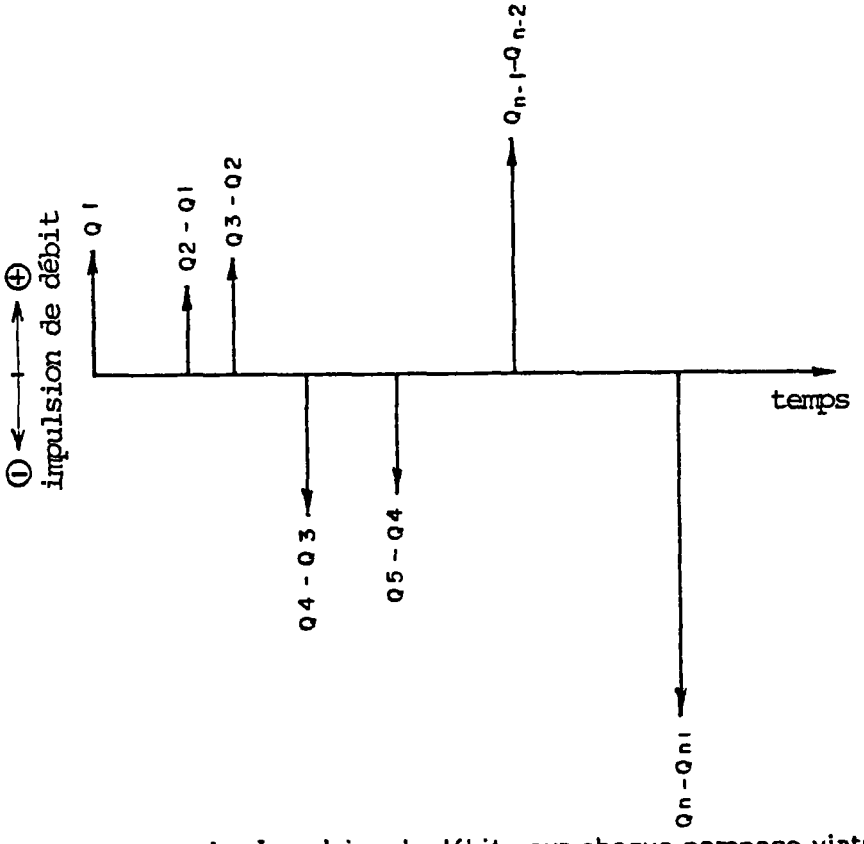
La formulation établie précédemment est applicable au puits de pompage en prenant un rayon d'observation égal au rayon du puits au niveau de l'aquifère sollicité.

Cependant, les dimensions du puits et les perturbations de l'écoulement à son voisinage introduisent des effets parasites qui déforment les courbes de rabattement. Ces déformations se manifestent dès le début du pompage, à l'inverse de celles inhérentes à l'aquifère, telles des limites hydrogéologiques, ou un changement de faciès.

a - L'effet de capacité traduit l'écart entre l'évolution du rabattement résultant d'un pompage dans un puits idéal dont le diamètre serait négligeable, et le rabattement observé dans un puits réel dont le diamètre (et par conséquent le volume d'eau contenu dans l'ouvrage) n'est pas négligeable : au cours du pompage, une partie



a - Pompage à débit variable assimilé
à une succession de pompages à débit constant



b - Impulsion de débit pour chaque pompage virtuel

Figure 1.2 - Principe de la convolution sur les débits

du débit prélevé provient directement du puits sans avoir transité dans l'aquifère. Cet effet peut être pris en compte en calculant, à chaque pas de temps, un débit corrigé Q_{cor} représentant le débit réellement produit par l'aquifère, tel que :

$$Q_{COR} = Q_T - Q_P$$

Q_T : débit total prélevé

Q_P : débit produit par le puits seul

b - L'effet de vidange de la colonne de refoulement, se produit à l'arrêt du pompage, lorsque la pompe ne possède pas de clapet anti-retour ou que celui-ci est défectueux. Il s'en suit une injection momentanée dans le puits de pompage qui a pour effet de produire une remontée plus rapide. Ce phénomène s'atténue progressivement jusqu'à ce que les niveaux d'eau s'équilibrent dans le tubage et dans la colonne de refoulement. L'effet de vidange est pris en compte en calculant, à chaque pas de temps de la remontée, un débit corrigé Q_{COR} tel que :

$$Q_{COR} = - Q_{COL}$$

Q_{COL} : débit produit par la colonne de refoulement.

c - Effet de perte de charge. Le rabattement total mesuré s_m, dans un puits de pompage, à un instant t donné, est la somme de deux composantes dont l'une est linéaire et l'autre quadratique par rapport au débit :

$$s_m(t) = B(t)\,Q + CQ^2$$

avec :

$B(t).Q$: perte de charge linéaire caractéristique du milieu aquifère. Le coefficient de perte de charge linéaire correspond à la fonction caractéristique de l'aquifère testé : $B(t) = F(t)$.

CQ^2 : perte de charge quadratique due à l'écoulement turbulent dans les crépines et le tubage.

Seule la perte de charge linéaire liée à l'écoulement laminaire dans l'aquifère permet le calcul des paramètres hydrodynamiques. Le rabattement mesuré au puits de pompage à un instant t, $s_m(t)$, est la somme du rabattement s(t) calculé grâce à la fonction caractéristique de l'aquifère testé et de la perte de charge quadratique causée par le puits de pompage :

$$s_m(t) = s(t) + CQ^2$$

La formule générale donnant le rabattement s dans un puits de pompage de rayon r, à un instant t, et pour le $n^{ième}$ palier de débit, a pour expression :

$$s\,(r,\ t,\ n) = \left[\sum_{i=1}^{n} (Q_{COR_i} - Q_{COR_{i-1}}) \cdot F\,(r,\ t-t_{i-1})\right] + C(Q_{COR_n})^2$$

3 - Fonctions "réponse" caractéristiques de chaque méthode d'interprétation

a - Milieu isotrope homogène, d'extension latérale infinie (fonction de Theis)

$$F\,(r,\ t - t_{i-1}) = \frac{1}{4\ \P\ T}\quad W\left(\frac{r^2 s}{4\ T\ (t - t_{i-1})}\right)$$

avec :

- t : temps (T)
- t_{i-1} : date de début du palier de débit n°i
- T : transmissivité (L^2/T)
- r : distance du centre du puits de pompage au point d'observation (L)
- S : coefficient d'emmagasinement (adimensionnel)
- W : fonction "puits" définie par :

$$W(x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{-\lambda}}{\lambda}\, d\lambda = \int_o^{1/x} \frac{e^{-1/\lambda}}{\lambda}\, d\lambda$$

b - Milieu homogène isotrope limité par deux barrières parallèles (méthode des "images")

$$F(r, t - t_{i-1}) = \frac{1}{4\,\pi\,T} \sum_{p=1}^{\infty} W\left(\frac{r_p\,(r)^2 S}{4\,T(t - t_{i-1})}\right)$$

avec :

- t : temps (T)
- t_{i-1} : date de début du palier de débit n°i
- T : transmissivité (L^2/T)
- r : distance du centre du puits de pompage au point d'observation (L)
- S : coefficient d'emmagasinement (adimensionnel)
- W : fonction "puits"
- $r_p(r)$: distance du point d'observation à l'axe du puits virtuel n°p. Elle dépend de la distance r au puits de pompage réel.

c - Milieu anisotrope affecté d'une fracture verticale unique (méthode de Gringarten)

. Puits de pompage

$$F(r,t-t_{i-1}) = F(t-t_{i-1}) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sqrt{T_y}} \sqrt{\frac{(t-t_{i-1})}{S.x_f^2}} \; erf\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{S.x_f^2}{T_x(t-t_{i-1})}}\right) + W\left(\frac{S.x_f^2}{4\,Tx(t-t_{i-1})}\right)$$

. Piézomètre situé dans l'axe de la fracture, à la distance r du puits de pompage

$$F(r,t-t_{i-1}) = \frac{1}{4\pi\sqrt{T_x\,T_y}} \left\{ \frac{1-(r/x_f)}{2} \left[\sqrt{\pi} \sqrt{\frac{4\,T_x(t-t_{i-1})}{(x_f-r)^2\,S}} \cdot erf\left(\sqrt{\frac{(x_f-r)^2\,S}{4\,T_x(t-t_{i-1})}}\right) + W\left(\frac{(x_f-r)^2\,S}{4\,T_x(t-t_{i-1})}\right)\right] \right.$$

$$\left. + \frac{1+r/x_f}{2} \left[\sqrt{\pi} \sqrt{\frac{4\,T_x(t-t_{i-1})}{(x_f+r)^2\,S}} \cdot erf\left(\sqrt{\frac{(x_f+r)^2\,S}{4\,T_x(t-t_{i-1})}}\right) + W\left(\frac{(x_f+r)^2\,S}{4\,T_x(t-t_{i-1})}\right)\right] \right\}$$

avec :

- t : temps (T)
- t_{i-1} : date de début du palier de débit n°i
- T : transmissivité (L^2/T)
- r : distance du centre du puits de pompage au point d'observation (L)
- S : coefficient d'emmagasinement (adimensionnel)
- W : fonction "puits"
- T_x : transmissivité horizontale selon l'axe de la fracture (L^2/T)
- T_y : transmissivité horizontale perpendiculairement à l'axe de la fracture (L^2/T)
- X_f : demi-longueur de fracture (L).

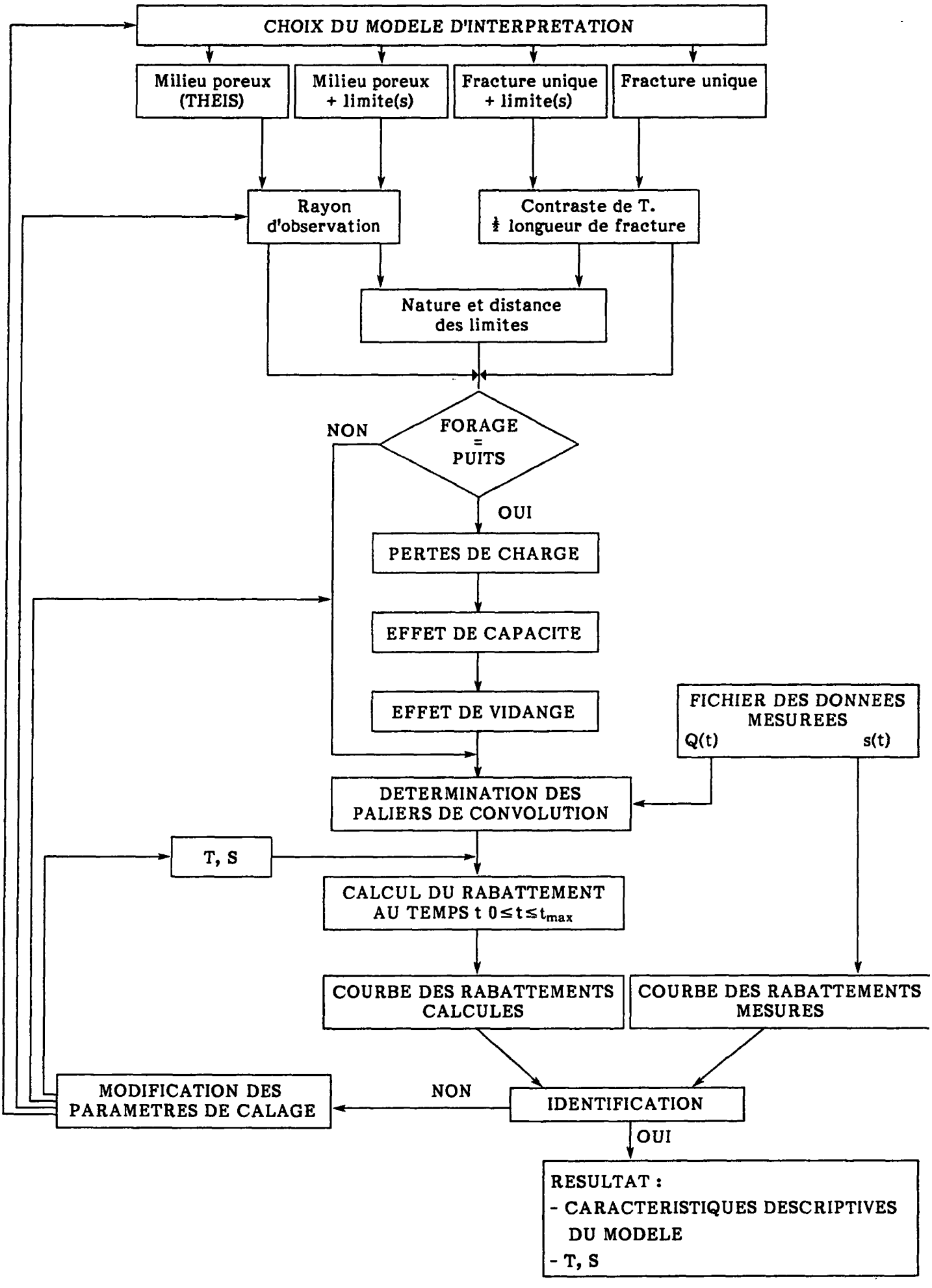


Figure 1.3 - Ordinogramme simplifié

d - Prise en compte d'effets de limites pour l'interprétation d'un pompage dans une fracture verticale unique

On peut envisager, pour décrire les effets de limites en milieu fracturé, de combiner la méthode des images avec les solutions analytiques de la méthode de **Gringarten.** Cependant, le fait que ces solutions analytiques soient différentes suivant la position du point d'observation par rapport à la fracture rend cette combinaison impossible dans la pratique.

Dans la solution proposée par **Gringarten,** le rabattement est semblable à celui prévu par la solution de **Theis, à un facteur près** qui dépend de la position du point de mesure et des caractéristiques de la fracture.

En utilisant les correspondances suivantes :

$$T_T = \sqrt{T_x T_y} = T_G$$

et, au puits de pompage :

$$S_T = \frac{1}{e^2} \sqrt{\frac{T_x}{T_y}} \left(\frac{x_f}{r_p} \right)^2 . S_G$$

au piézomètre :

$$S_T = \frac{1}{e^2} \sqrt{\frac{T_x}{T_y}} \frac{x_f^2 - x^2}{x^2} . \left(\frac{x_f + x}{x_f - x} \right)^2 . S_G$$

notations supplémentaires par rapport au paragraphe c.

T_T, S_T : paramètres hydrodynamiques de la solution de **Theis**
T_G, S_G : paramètres hydrodynamiques de la solution de **Gringarten**

Il est possible de résoudre le problème posé en utilisant la fonction caractéristique d'un milieu homogène limité par deux barrières parallèles (paragraphe b).

L'enchaînement des différentes étapes du déroulement du logiciel ISAPE est résumé par la figure I.3.

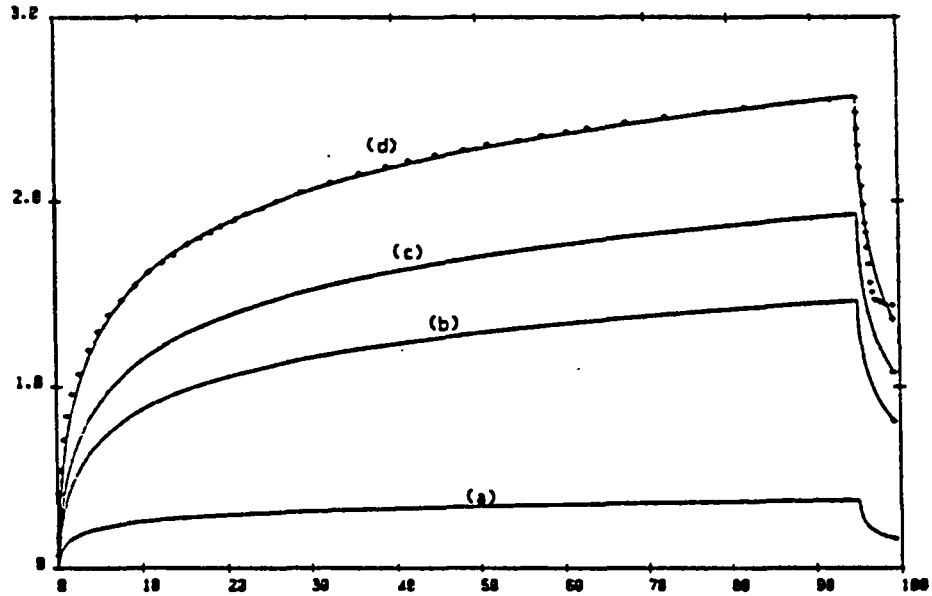


Figure 1.4

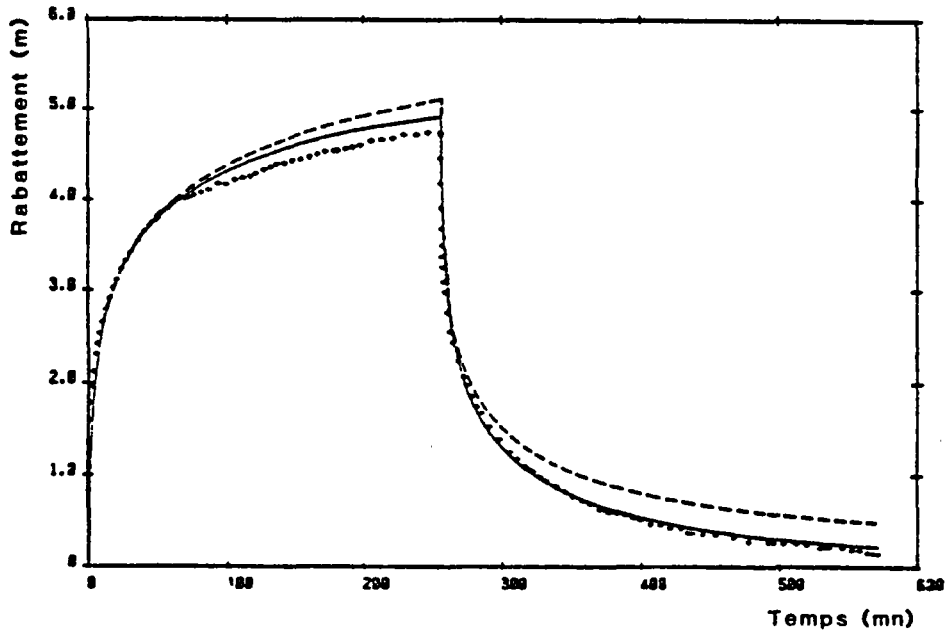


Figure 1.5

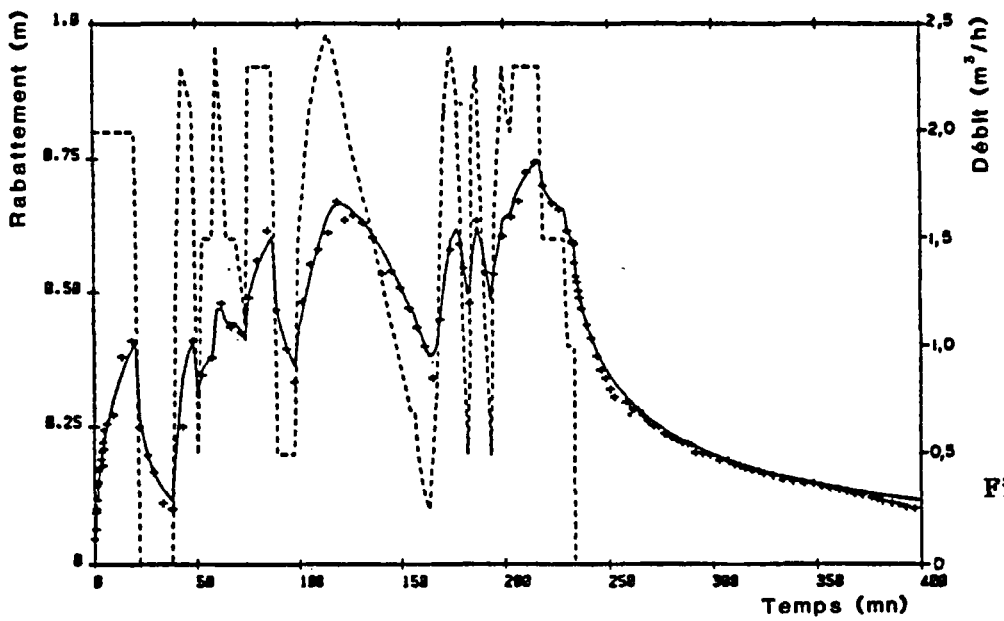


Figure 1.6

I.6 - EXEMPLES D'INTERPRETATION ILLUSTRANT LES POSSIBILITES DU LOGICIEL ISAPE

Figure 1.4 - Exemple de réalisation d'un calage

Interprétation par un schéma "milieu fissuré" (puits sur une fracture verticale).

$T_x/T_y = 7$

X_f = 1/2 longueur de la fracture = 20 m

Tirs successifs

a)	T =	10^{-3} m^2/s	S =	10^{-3}
b)	T = 5	10^{-3} m^2/s	S =	10^{-3}
c)	T = 7,5	10^{-3} m^2/s	S = 8	10^{-4}
d)	T = 6	10^{-4} m^2/s	S = 4,5	10^{-4}

L'interprétation est menée en modifiant successivement les paramètres T_x/T_y, X_f, T et S : une quarantaine de tirs successifs a été nécessaire (durée de l'interprétation : 30 mn).

Figure 1.5 - Exemple d'un calage réalisé en prenant en compte un effet de limite d'alimentation

courbe théorique ne prenant pas en compte une limite d'alimentation

courbe théorique prenant en compte une limite d'alimentation

Figure 1.6 - Exemple d'un calage réalisé pour un essai fortement perturbé par des variations de débit

courbe des débits mesurés

courbe théorique calculée

I.7 - CONCLUSION - LES AVANTAGES DU LOGICIEL ISAPE

Le logiciel ISAPE présente les avantages suivants pour l'interprétation des pompages d'essai :

- La prise en compte des variations de débit, par convolution de ceux-ci, permet d'interpréter des pompages à débit instable. Ceci nécessite de connaître toutes les variations de débit, d'où un comportement nouveau de l'hydrogéologue sur le terrain : celui-ci s'attachera à déceler ces variations et à les mesurer avec minutie plutôt que de tenter de maintenir un débit approximativement constant par des vannages successifs.

- La prise en compte des effets de puits rend possible l'interprétation au puits de pompage, seul ouvrage dont on dispose dans la majorité des cas pour observer le comportement hydrodynamique des aquifères.

- L'aspect convivial du logiciel facilite la phase d'ajustement en offrant la possibilité de modifier à tout instant l'un des paramètres de l'interprétation.

- L'intervention permanente des utilisateurs dans la détermination des paramètres du calage leur permet de conduire l'interprétation avec un maximum de réflexion.

CHAPITRE II

CONSEILS PRATIQUES POUR LA CONDUITE DES INTERPRETATIONS

A L'AIDE DU LOGICIEL ISAPE

II - CONSEILS PRATIQUES POUR LA CONDUITE DES INTERPRETATIONS A L'AIDE DU LOGICIEL ISAPE

L'utilisation du logiciel ISAPE suppose une démarche de travail nouvelle pour l'hydrogéologue : au lieu de caler manuellement la courbe expérimentale des rabattements mesurés sur une courbe théorique figée, l'opérateur va au contraire s'efforcer de "modeler" la courbe théorique, en ajustant progressivement les paramètres hydrodynamiques et géométriques caractéristiques de l'aquifère étudié. Le principe de l'interprétation par superposition de deux courbes, demeure le même, mais la démarche pratique est inversée :

- Méthode manuelle : le calage intervient avant la détermination de T et S.
- Logiciel ISAPE : les paramètres T et S sont ajustés jusqu'à l'obtention d'un calage satisfaisant.

Le déroulement de l'interprétation d'un pompage d'essai à l'aide du programme ISAPE est schématisé à la figure 2.1.

Chacune des étapes est détaillée dans les paragraphes qui suivent.

II.1 - CHOIX D'UN MODELE D'INTERPRETATION

Cette étape est fondamentale car elle conditionne la qualité de l'interprétation : il est impératif que le modèle d'interprétation retenu soit représentatif des caractéristiques réelles de l'aquifère étudié.

Un aquifère n'est pas une boîte noire dans laquelle l'eau est prélevée, c'est au contraire une entité définie par une géométrie, une extension, et par le faciès pétrographique de la roche qui le compose. L'interprétation d'un pompage d'essai doit débuter par une rapide synthèse des connaissances géologiques concernant la zone d'étude. Compte tenu des possibilités actuelles du logiciel ISAPE, on cherchera à répondre aux questions suivantes :

1 - Faciès de la roche constituant l'aquifère testé :
   - roche poreuse
   - roche très peu ou non poreuse.

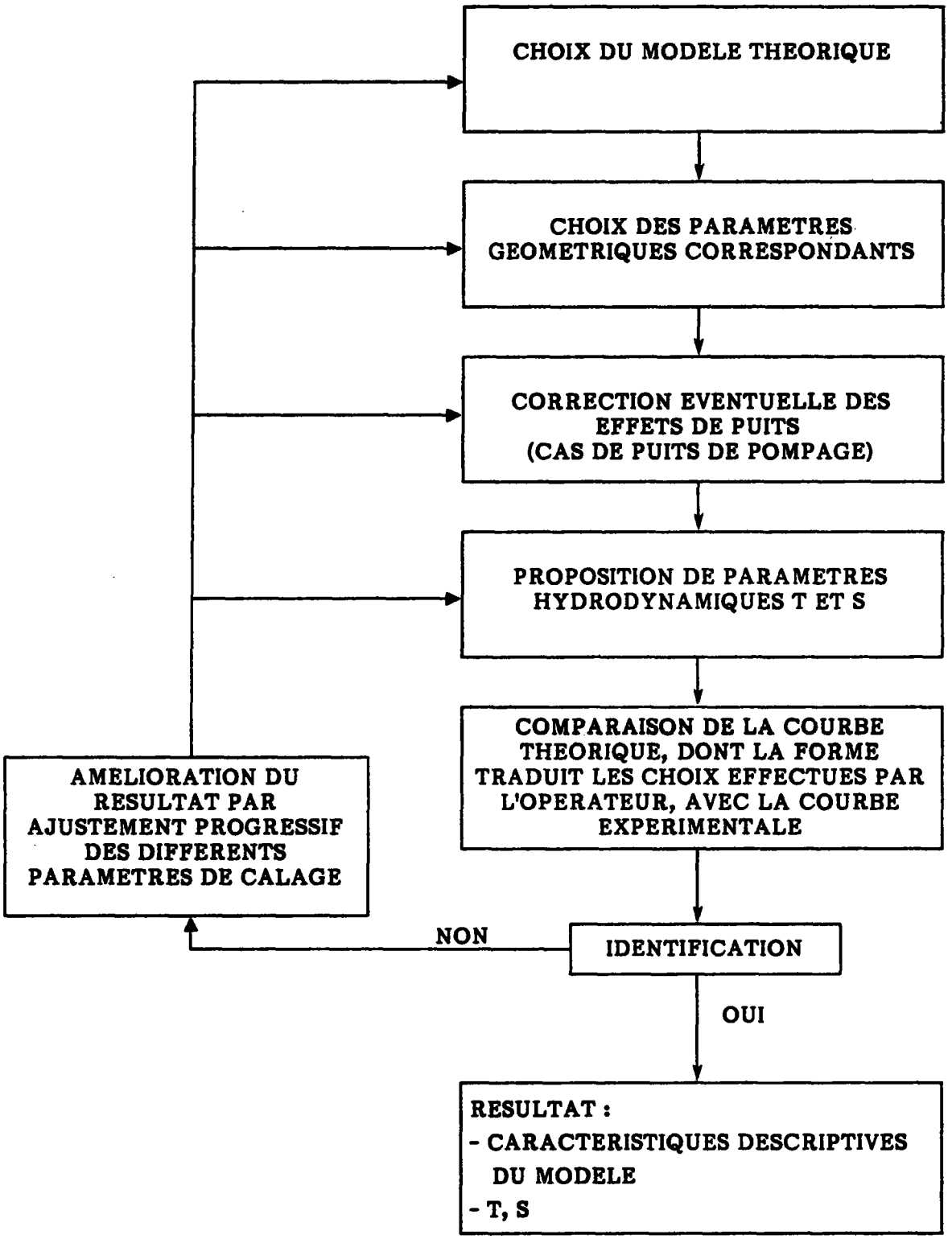

CHOIX DU MODELE THEORIQUE
CHOIX DES PARAMETRES GEOMETRIQUES CORRESPONDANTS
CORRECTION EVENTUELLE DES EFFETS DE PUITS (CAS DE PUITS DE POMPAGE)
PROPOSITION DE PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES T ET S
COMPARAISON DE LA COURBE THEORIQUE, DONT LA FORME TRADUIT LES CHOIX EFFECTUES PAR L'OPERATEUR, AVEC LA COURBE EXPERIMENTALE
IDENTIFICATION
NON
AMELIORATION DU RESULTAT PAR AJUSTEMENT PROGRESSIF DES DIFFERENTS PARAMETRES DE CALAGE
OUI
RESULTAT :
- CARACTERISTIQUES DESCRIPTIVES DU MODELE
- T, S

Figure 2.1 - Démarche suivie pour l'interprétation d'un pompage d'essai à l'aide du logiciel ISAPE

2 - Venues d'eau observées en cours de foration (dans le cas où la méthode de foration permet cette reconnaissance) :
- augmentation relativement continue du débit avec la profondeur
- venue d'eau ponctuelle avec éventuellement chute d'outil, (ou plusieurs venues d'eau bien groupées)
- nombreuses venues d'eau ponctuelles observées tout le long de la zone captée.

3 - Environnement de l'aquifère :
- proximité d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau
- changement latéral du faciès géologique
- relations avec un aquifère sus/sous jacent par l'intermédiaire d'un semi-perméable
- présence supposée de failles colmatées ou conductrices.

Ces connaissances sont acquises grâce :
- à une étude bibliographique préalable
- aux comptes rendus d'exécution du forage
- à l'étude des cartes topographiques et géologiques, ainsi que des photographies aériennes
- aux observations sur le terrain.

Ce premier ensemble d'information donne lieu à une première sélection entre deux schémas principaux :

a - Milieu poreux homogène isotrope convenant aux cas suivants :

. milieu poreux non fracturé
. milieu poreux ou non intensément fissuré, (les blocs si délimités par la fissuration étant de dimensions négligeables devant l'échelle du phénomène observé).

b - Milieu poreux anisotrope affecté d'une fracture verticale unique

Ce schéma convient dans le cas où le puits de pompage recoupe une fracture considérée comme verticale affectent un milieu quelconque (matrice poreuse ou non).

Le cas d'un forage recoupant de nombreuses fractures dans un milieu poreux ou non (modèle à double porosité) ne peut être actuellement traité avec les méthodes d'interprétation offertes par ISAPE.

La prise en compte d'éventuels effets de limite intervient dans un second temps, après la mise en évidence de un ou deux points d'inflexion sur la courbe expérimentale. Deux types de limites peuvent être simulés :

- **Limite d'alimentation** : l'inflexion de la courbe tend vers une diminution du rabattement mesuré par rapport au rabattement théorique calculé.

- **Limite étanche** : l'inflexion de la courbe tend vers une augmentation du rabattement mesuré par rapport au rabattement théorique calculé.

Le temps à partir duquel les effets de limites se manifestent dépend d'une part de la distance puits - limite et, d'autre part, de la transmissivité. Ces limites ne doivent par conséquent être introduites dans le modèle qu'après calage du début du pompage et identification d'un point de "divergence" entre la courbe théorique et la courbe expérimentale.

II.2 - CHOIX DES PARAMETRES GEOMETRIQUES DU MODELE

La nature des paramètres géométriques dépend de la méthode d'interprétation retenue.

- **Modèle de milieu poreux homogène isotrope**

Le seul paramètre à définir est le rayon d'observation :
- distance puits-piézomètre dans le cas du piézomètre
- rayon du puits dans le cas du puits de pompage.

Ces paramètres géométriques sont directement issus du dispositif de pompage. Toutefois dans le cas d'un puits, le rayon réel peut être remplacé par un rayon efficace estimé (correspondant au rayon d'un puits idéal qui aurait le même comportement que le puits réel). Dans la pratique, ce rayon englobe l'enveloppe extérieure du massif filtrant.

- **Modèle du milieu poreux anisotrope affecté d'une fracture unique**

Les paramètres à définir sont :
- le contraste des transmissivités principales horizontales T_x/T_y
- la demi-longueur de fracture x_f.

Ces paramètres géométriques étant difficiles à cerner, il est conseillé en début d'interprétation de choisir empiriquement des valeurs (celles proposées par le logiciel : $T_x/T_y = 1$, $x_f = 100$ m). Pour un calage donné, rappelons que :

- une augmentation du contraste de transmissivité équivaut à une augmentation simultanée de T et S
- une augmentation de la demi-longueur xf de fracture équivaut à une diminution de S, telle que x^2f . S : constante.

Seule la recherche d'une interprétation cohérente de pompages réalisés sur plusieurs forages d'un même site peut permettre de cerner précisément les paramètres T_x/T_y et xf.

- **Adjonction de l'influence de limite(s) à l'un ou l'autre des modèles précédents**

Dans le modèle proposé, les deux limites sont obligatoirement parallèles.

Pour chaque limite, les paramètres à définir sont :
- nature de la limite (étanche, alimentée)
- distance au puits de pompage.

- Remarque 1 :

- Un effet de limite alimentée peut traduire :

  . une alimentation par une limite à flux imposé (cours d'eau, lac,...),

  . un changement latéral de faciès, avec augmentation de la transmissivité. (La distance séparant le puits de pompage de la limite alimentée "virtuelle" équivalente est alors supérieure à la distance séparant le puits de la limite réelle de changement de faciès),

  . un drainage vertical à travers un milieu semi-perméable.

- Un effet de limite étanche peut traduire également un changement latéral de faciès, avec diminution de la transmissivité. (Ex : couloir fissural affectant une roche poreuse ou non).

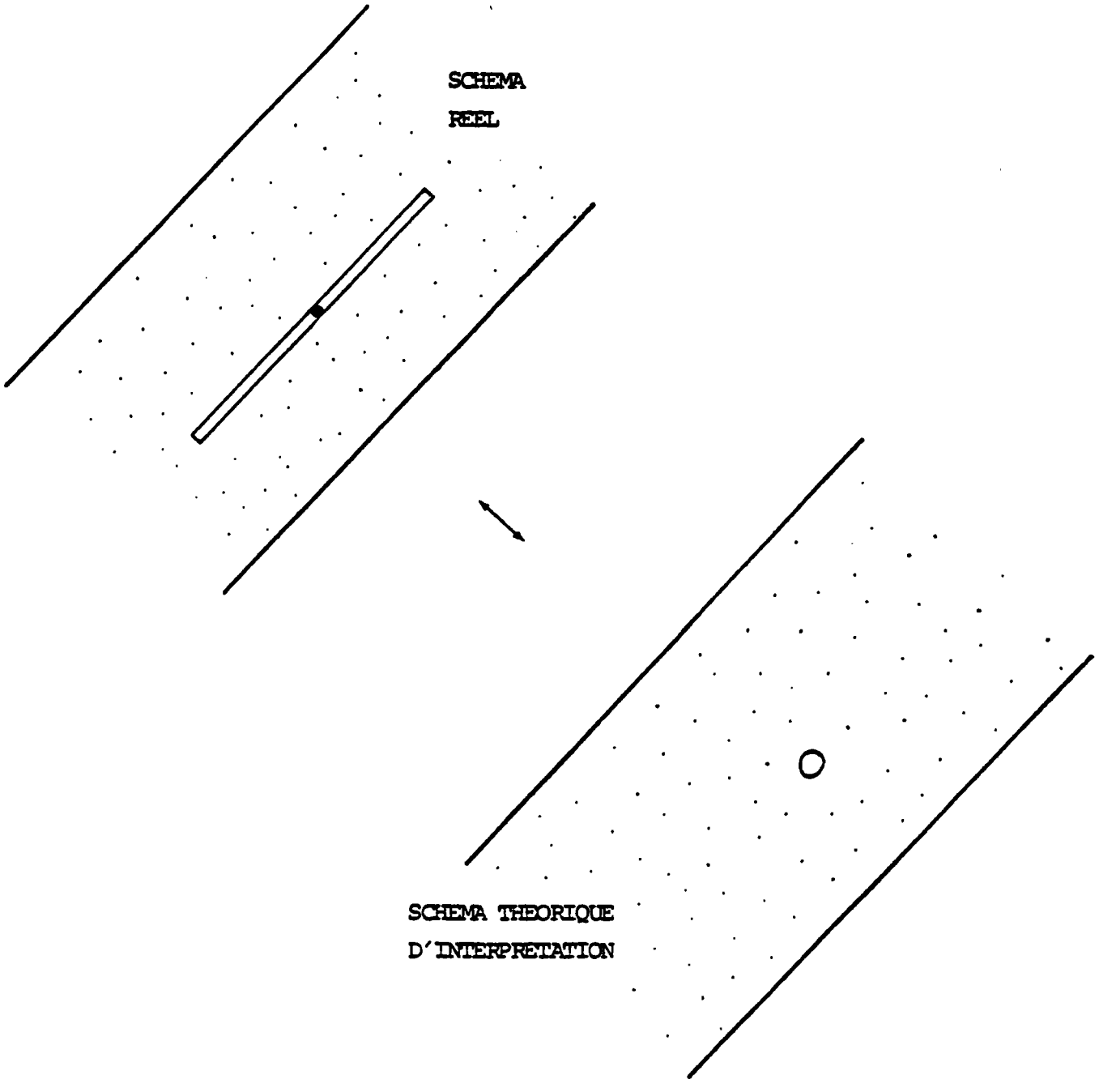


Figure 2.2 : Cas n°1 - Limites et fracture parallèles

- *Remarque 2 : Modèle de milieu anisotrope affecté d'une fracture unique couplé avec deux limites parallèles*

Le principe de la méthode d'interprétation consiste à substituer l'ensemble - fracture verticale de longueur $2x_f$ affectant un milieu poreux homogène anisotrope -, caractérisé par les paramètres hydrodynamiques Tx, Ty, S_G, par un milieu poreux homogène équivalent de paramètres hydrodynamiques fictifs T_T et S_T (développements théoriques, cf. chap. Ier, paragr. 1.5.3. d). Les effets de limites parallèles seront simulés grâce à la méthode des images.

Géométrie du schéma d'interprétation

La fracture verticale étant assimilée à un parallélipipède d'épaisseur négligeable mais de conductivité élevée, constituant en quelque sorte une extension du puits, la géométrie du schéma d'interprétation dépendra étroitement des orientations respectives des limites et de la fracture.

Cas n°1 (fig. 2.2) : Limites et fracture parallèles

C'est le cas où le schéma d'interprétation se rapproche le plus de la géométrie réelle. L'augmentation de la surface de production due à la présence de la fracture peut être simulée en augmentant le rayon du puits de pompage.

Cas n°2 (fig. 2.3) : Fracture recoupant perpendiculairement les limites

C'est le cas extrême pour lequel les effets de limites vont se manifester instantanément : le schéma d'interprétation impose alors des limites pratiquement accolées au puits de pompage.

Tous les cas intermédiaires sont bien sûr envisageables, mais en l'absence d'une connaissance préalable des relations géométriques entre fracture et limites, la détermination quantitative de la distance réelle séparant chaque limite du puits de pompage est impossible. Seule une estimation qualitative est envisageable ("effet de limite" proche ou éloigné).

La figure 2.4 montre différents exemples aboutissant à des comportements hydrodynamiques semblables.

- *Remarque 3 :*

Dans le cas où des mesures ont réalisées sur plusieurs forages d'un même site, il sera indispensable d'obtenir une cohérence parfaite des interprétations (paramètres hydrodynamiques - géométrie du modèle).

II.3 - EFFETS DE PUITS

Dans le cas d'une interprétation au puits de pompage, la prise en compte des effets de puits permet d'améliorer la qualité du calage et d'aboutir à une meilleure cohérence des résultats obtenus entre puits et piézomètres.

a - Effet de perte de charge

Il intervient systématiquement au puits de pompage et peut être déterminé de plusieurs façons :

- Dans le cas favorable, ou l'on possède des observations sur un piézomètre conserver les paramètres hydrodynamiques déterminés pour cet ouvrage pour l'interprétation au puits de pompage. L'ajustement est alors affiné en introduisant des pertes de charge dans le modèle.

- Sinon, on devra déterminer le coefficient de pertes de charge quadratique en interprétant la courbe caractéristique résultant d'un essai par paliers, ou en se référant aux tables fournies dans la littérature.

b - Effet de capacité

Cet effet, spécifique au puits de pompage, est d'autant plus marqué que le diamètre de l'ouvrage est grand et que le rabattement est important.

Les données nécessaires au calcul de l'effet de capacité sur un puits sont :
- les différents diamètres de foration
- ou uniquement les différents diamètres inférieurs des tubages si ceux-ci sont cimentés.

c - Effet de vidange de la colonne de refoulement

Cet effet se manifeste en début de remontée lorsque le clapet anti-retour de la pompe est défectueux ou absent. Il est d'autant plus significatif que le rapport entre le diamètre de la colonne et celui du puits est important.

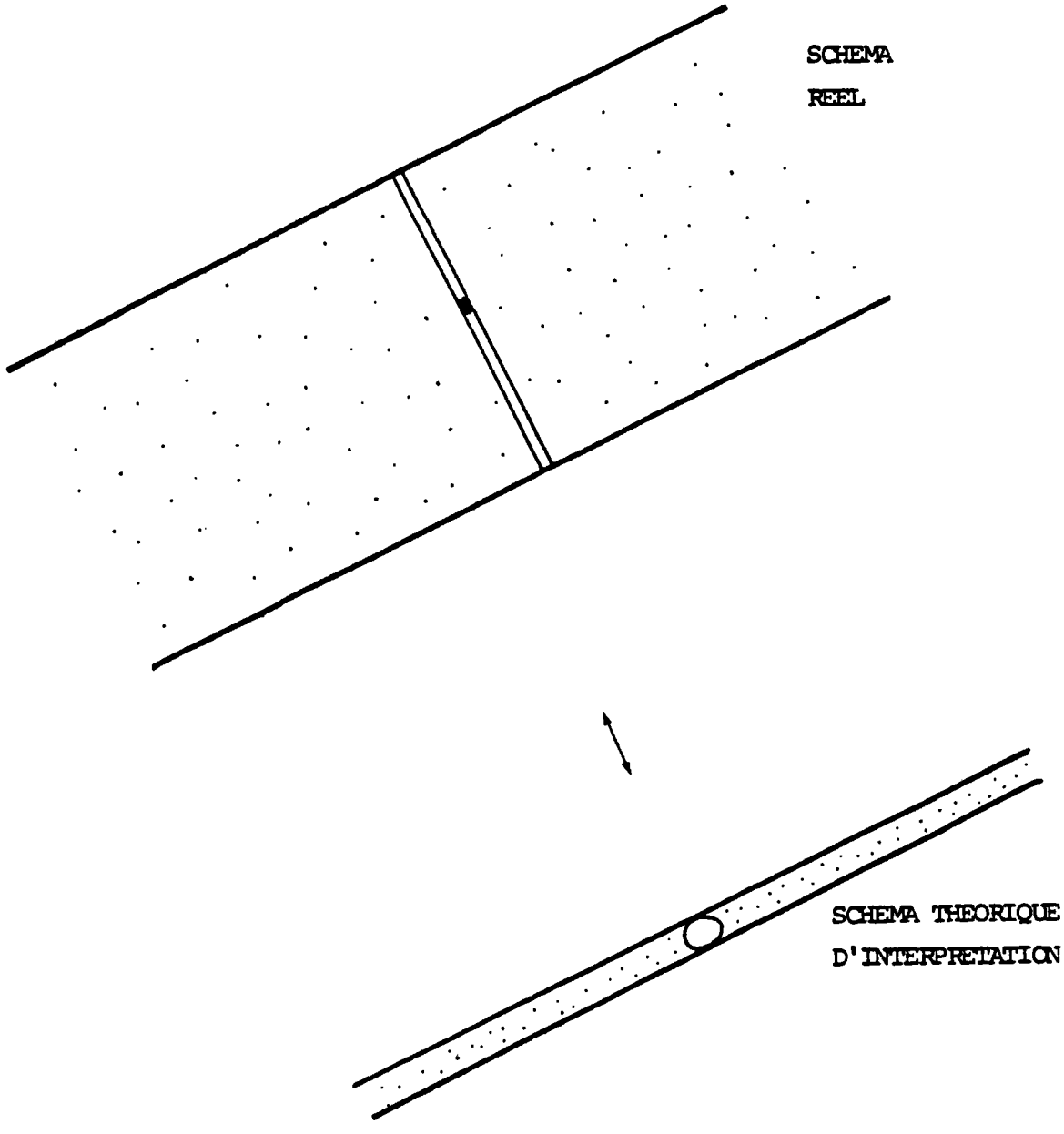


Figure 2.3 - Cas n°2 - Fracture perpendiculaire aux limites et recoupant ces limites

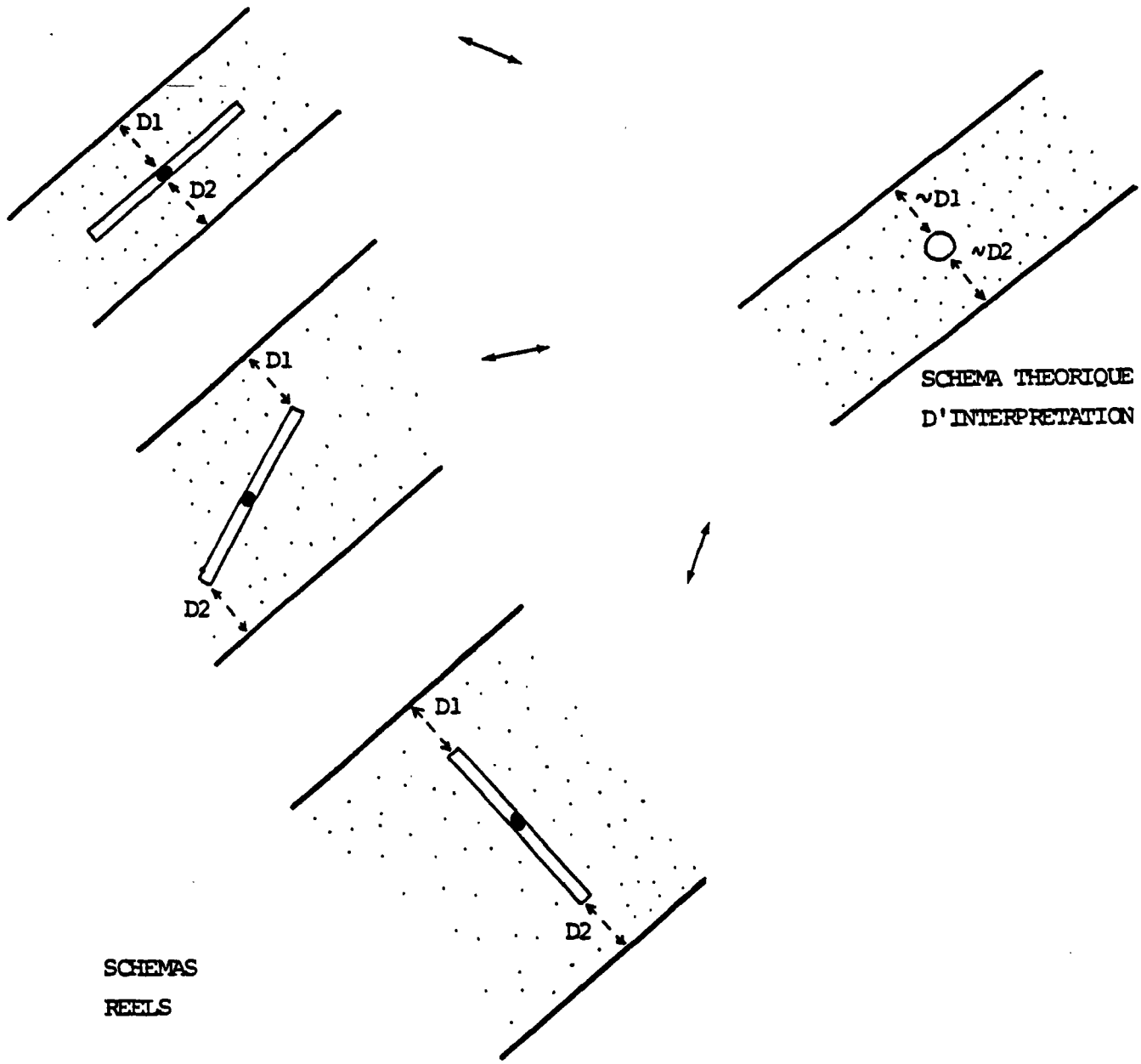


Figure 2.4 - Exemple de différents schémas réels aboutissant à un même schéma théorique d'interprétation

II.4 - CHOIX DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES T ET S

Pour un premier essai, le débit spécifique Q/s peut constituer une valeur approchée de la transmissivité, tandis que le coefficient d'emmagasinement doit caractériser l'état de la nappe au repos (nappe libre : prendre un coefficient d'emmagasinement voisin de la porosité - nappe captive : inférieur à la porosité 10^{-3} ou moins). L'ajustement des paramètres de calage par tirs successifs, en appliquant les règles définies au chapitre III, permet progressivement la superposition de la courbe théorique et de la courbe des rabattements mesurés.

- Remarque :

La qualité de l'interprétation peut être améliorée en utilisant la possibilité offerte par ISAPE de réaliser un "zoom" sur le début du pompage, puis sur la remontée. L'interprétation doit aboutir déterminer des paramètres de calage identiques pour les deux portions extrêmes de la courbe expérimentale.

II.5 - OBTENTION DU CALAGE DEFINITIF

L'interprétation finale est obtenue en ajustant très progressivement chacun des paramètres entrant en jeu dans le calcul de la courbe théorique. A chaque étape du calage, l'opérateur doit vérifier la conformité des hypothèses d'interprétation avec la réalité hydrogéologique, ainsi que la validité des paramètres de calage. L'appréciation de la qualité du calage est uniquement visuelle et peut être influencée par l'échelle de tracé du graphique à l'écran : les possibilités de "zoom" offertes par ISAPE permettent une analyse détaillée du résultat obtenu et doivent être systématiquement employées.

CHAPITRE III

INFLUENCE DES DIFFERENTS PARAMETRES DE CALAGE SUR LA FORME DES COURBES THEORIQUES CALCULEES

\ : transmissivité croissante

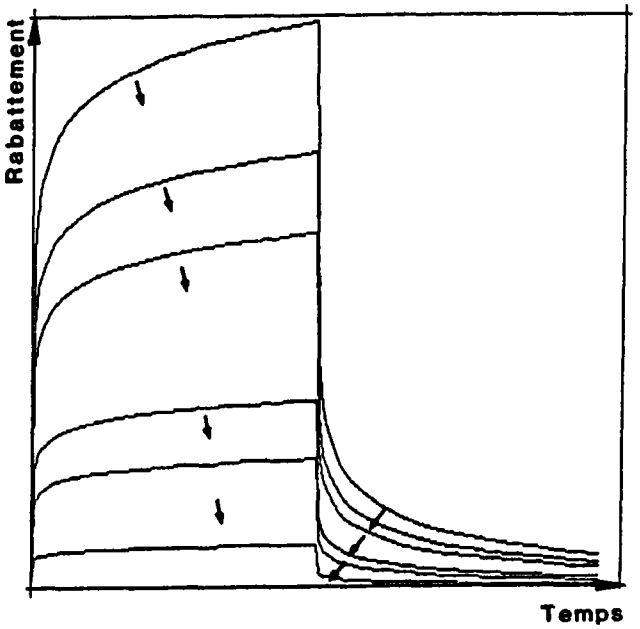


Figure 3.1 - Rabattements calculés pour des transmissivités croissantes

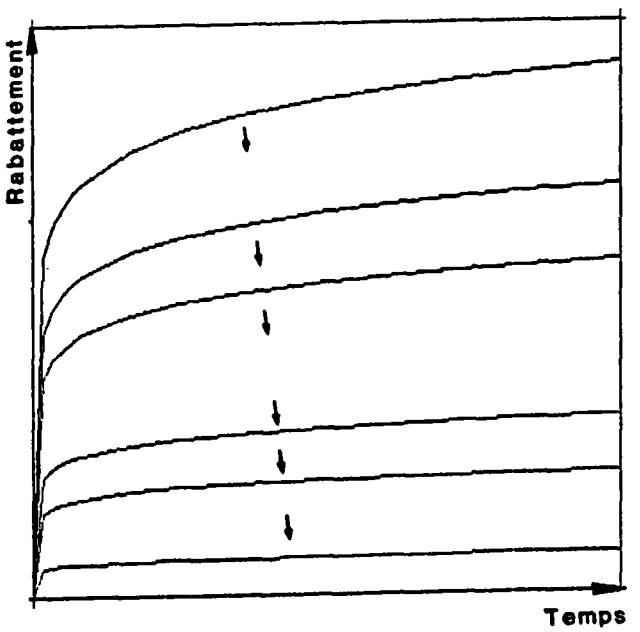


Figure 3.2 - Agrandissement de début des courbes de descente

III - INFLUENCE DES DIFFERENTS PARAMETRES DE CALAGE SUR LA FORME DES COURBES THEORIQUES CALCULEES

Pour qui n'est pas utilisateur familier du logiciel ISAPE, il peut se révéler difficile de prévoir les modifications de la forme de la courbe théorique calculée qu'engendrent les variations apportées aux différents paramètres de calage. Ce chapitre, présenté de manière illustrée en évitant toute considération théorique, rappelle quelques règles simples dont l'emploi facilitera la réalisation des calages.

III.1 -INFLUENCE DU PARAMETRE TRANSMISSIVITE (fig. 3.1 et 3.2)

Une augmentation de la transmissivité a pour effet de diminuer la valeur des rabattements calculés, aussi bien pour la descente que pour la remontée.

Cette variation est cependant nettement moins importante durant la phase de remontée.

Plus la transmissivité est grande, plus la courbe des rabattements calculés tend rapidement vers une valeur asymptotique, aussi bien en descente qu'en remontée.

T↗	. rabattements calculés ↘ . amplitude des rabattements ↘ . valeur asymptotique du rabattement plus rapidement atteinte

↘ : coefficient d'emmagasinement croissant

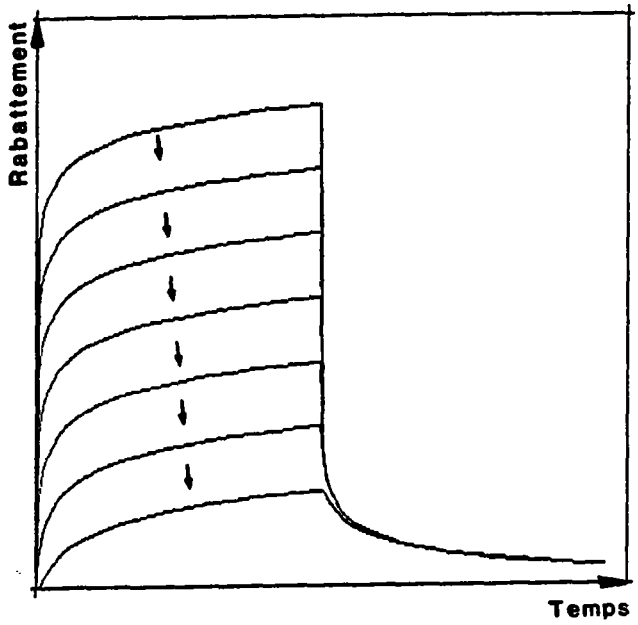


Figure 3.3 - Rabattements calculés pour des coefficients d'emmagasinement croissants

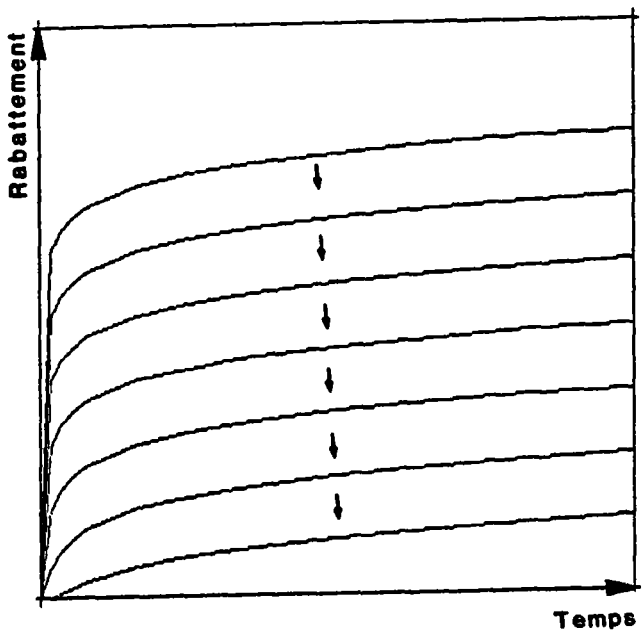


Figure 3.4 - Agrandissement du début des courbes de descente

III.2 -INFLUENCE DU PARAMETRE COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT (fig. 3.3 et 3.4)

Les courbes de descente restent parallèles quel que soit le coefficient d'emmagasinement choisi. A une augmentation de ce coefficient correspond simplement une translation de la courbe de descente vers des valeurs de rabattement plus faibles.

Les courbes de remontée sont rapidement identiques quel que soit le coefficient d'emmagasinement.

S ↗	. translation de la courbe de descente vers des valeurs de rabattement plus faibles . la courbe de remontée n'est pas modifiée

Nature de la matrice rocheuse	Cm $m^3/m^3/bar$	Valeur moyenne de S_{lim} = e.Cm pour une épaisseur e de :				
		1 m *	10 m	20 m	50 m	100 m
Calcaire	1,4 à $4,4.10^{-6}$	$2,9.10^{-6}$	$2,9.10^{-5}$	$5,8.10^{-5}$	$1,5.10^{-4}$	3.10^{-4}
Granite	4,2 à $9,2.10^{-6}$	$6,7.10^{-6}$	$6,7.10^{-5}$	$1,3.10^{-4}$	$3,4.10^{-4}$	$6,7.10^{-4}$
Grès	3,1 à $5,9.10^{-6}$	$4,5.10^{-6}$	$4,5.10^{-5}$	9.10^{-5}	$2,3.10^{-4}$	$4,5.10^{-4}$
Grès houiller	8 à $9,5.10^{-6}$	$8,8.10^{-6}$	$8,8.10^{-5}$	$1,8.10^{-4}$	$4,4.10^{-4}$	$8,8.10^{-4}$
Marbre	1,5 à 10.10^{-6}	$5,8.10^{-6}$	$5,8.10^{-5}$	$1,2.10^{-4}$	$2,9.10^{-4}$	$5,8.10^{-4}$

* **exemple :** zone fissurée dans une roche imperméable.

Tableau 3.1 - Emmagasinement limite exprimé en fonction de la compressibilité matricielle Cm de différentes roches et de l'épaisseur de la formation testée

III.3 -LIMITE INFERIEURE DE VALIDITE DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT (tabl. 3.1)

L'emmagasinement S s'exprime en fonction de l'épaisseur e de la formation testée, de la porosité ϕ, de sa compressibilité matricielle Cm, ainsi que de la compressibilité de l'eau Ce (Thiery, Vandenbeusch, Vaubourg, 1983).

$$S = e\,(Ce\ \phi + (1 - \phi)\ Cm)$$

La valeur minimale du coefficient d'emmagasinement, lorsque ϕ tend vers zéro, tend vers e.Cm.

$$S\ limite \simeq e.Cm$$

Le tableau 3.1 donne les valeurs des emmagasinements limites en fonction de la nature de la matrice.

↘ : transmissivité décroissante
coefficient d'emmagasinement croissant

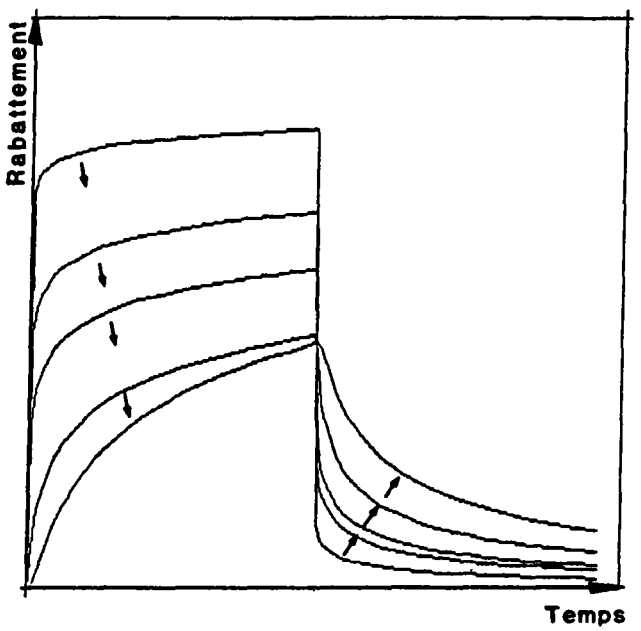


Figure 3.5 - Rabattements calculés pour des transmissivités décroissantes et des coefficients d'emmagasinement croissants

III.4 -INFLUENCE DE VARIATIONS SIMULTANEES INVERSES DES PARAMETRES T ET S (fig. 3.5)

La diminution de la transmissivité et l'augmentation simultanée du coefficient d'emmagasinement ont pour effet d'atténuer les courbures de la courbe de descente et de la courbe de remontée.

Des variations inversées produisent bien évidemment l'effet contraire.

T ↘	S ↗	. atténuation des courbures
T ↗	S ↘	. courbures plus marquées

↓ : rayon d'observation croissant

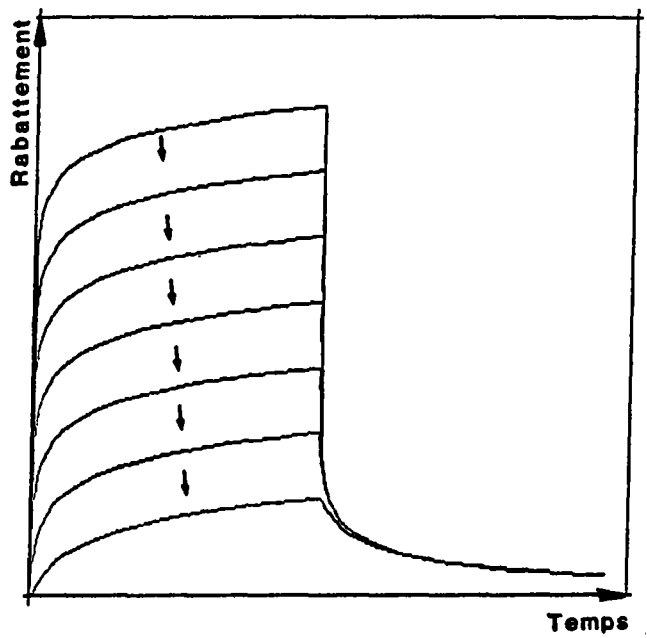


Figure 3.6 - Rabattements calculés pour des rayons d'observation croissants

III.5 -INFLUENCE DU PARAMETRE RAYON D'OBSERVATION

. rayon efficace dans le cas d'un puits de pompage,
. distance puits-point d'observation dans le cas d'un piézomètre (fig. 3.6).

Une augmentation du rayon d'observation se traduit par une translation de la courbe de descente vers des valeurs de rabattement plus faibles, tandis que la courbe de remontée n'est pas modifiée. On obtient des calages identiques pour toutes valeurs de S et R obs, tel que le produit $(R\ obs)^2.S$ reste constant.

L'effet est analogue à celui produit par une augmentation du coefficient d'emmagasinement.

En pratique, il n'y a pas lieu de modifier la distance puits-piézomètre, a priori connue précisément.

Cette modification n'est envisageable que dans le cas d'un puits de pompage dont le rayon efficace peut être différent du rayon réel car il englobe l'enveloppe extérieure du massif filtrant ou de la zone dans laquelle le milieu aquifère a été développé.

R obs ↗	. translation de la courbe de descente vers vers des valeurs de rabattement plus faibles . la courbe de remontée n'est pas modifiée . effet identique à $\sqrt{S}$ ↗

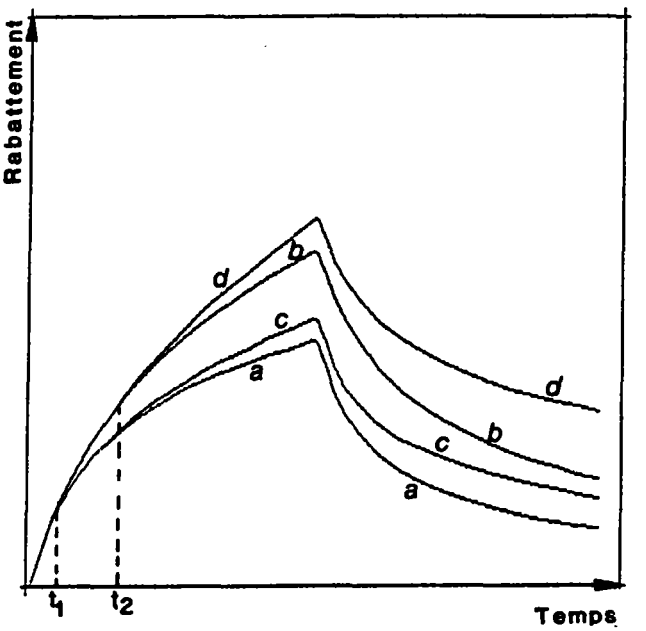


Figure 3.7 - Influence de limites étanches

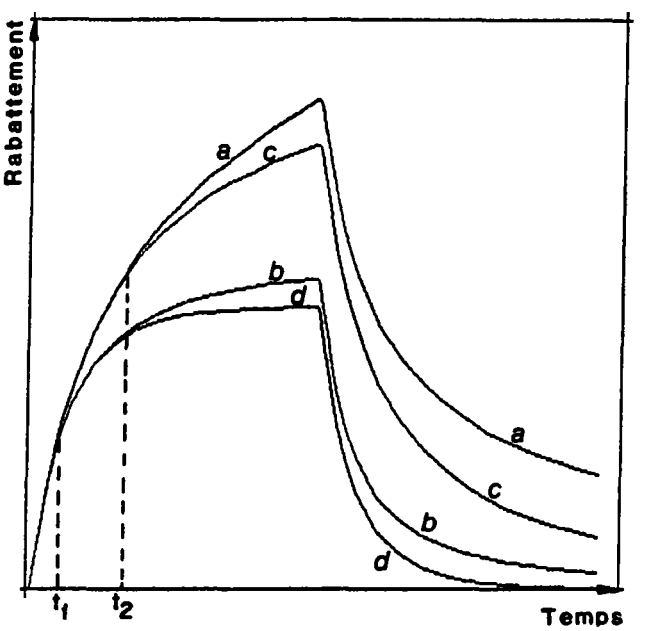


Figure 3.8 - Influence de limites alimentées

a : courbe de rabattement ne prenant pas en compte d'effets de limites

b : influence au temps t1 d'une limite située à la distance d1

c : influence au temps t2 d'une limite située à la distance d2

d : influences combinées d'une limite située à la distance d1 et d'une limite située à la distance d2

III.6 -INFLUENCE DE LIMITES ETANCHES (ALIMENTEES) (fig. 3.7 et 3.8)

L'influence d'une limite étanche (alimentée) se traduit par une majoration (minoration) des rabattements calculés, aussi bien au cours de la phase de pompage qu'au cours de la phase de remontée.

Un point d'inflexion sur la courbe de descente marque le moment à partir duquel la limite influence le rabattement. Ce moment dépend de la distance séparant la limite du point d'observation : l'influence est d'autant plus tardive que la limite et éloignée du point d'observation.

L'effet simultané de deux limites étanches (alimentées) parallèles correspond, à chaque instant t, à la somme des influences provoquées par chaque limite : on obtient donc une courbe de descente portant deux points d'inflexion.

Présence d'une limite	point d'inflexion sur la courbe de descente, dont la date dépend de la distance limite-point d'observation
Nature : limite étanche	majoration des rabattements calculés
Nature : limite alimentée	minoration des rabattements calculés
Deux limites parallèles de même nature	deux points d'inflexion. L'influence correspond à la somme des influences provoquées par chaque limite

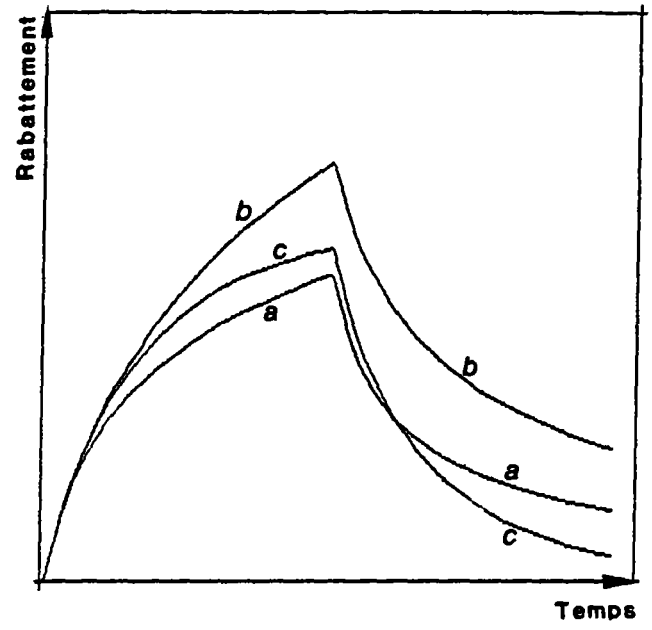


Figure 3.9 - Influences combinées d'une limite étanche située à la distance d1 et d'une limite alimentée située à la distance d2, tel que d1 < d2 a : pas de limite ; b : prise en compte de l'effet de limite étanche ; c : influences combinées des deux limites

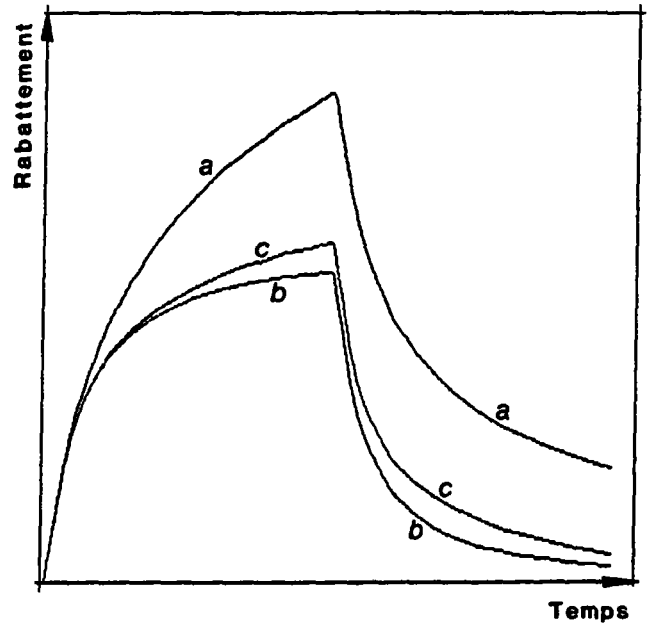


Figure 3.10 - Influences combinées d'une limite alimentée située à la distance d1 et d'une limite étanche située à la distance d2, tel que d1 < d2 a : pas de limite ; b : prise en compte de l'effet de limite étanche ; c : influences combinées des deux limites

III.7 -INFLUENCE DE LA COMBINAISON D'UNE LIMITE ETANCHE ET D'UNE LIMITE ALIMENTEE (fig. 3.9 et 3.10)

On observe les mêmes règles que dans le cas de deux limites de même nature.

La courbe résultante comporte deux inflexions de sens opposés.

La limite localisée au plus près du point d'observation est celle qui aura le plus d'influence sur les valeurs du rabattement résultant.

Deux limites de nature différente	. influence : somme des influences provoquées par chaque limite . deux points d'inflexion de sens opposés . la limite la plus proche du point d'observation a une influence majeure sur les valeurs du rabattement résultant

: contraste de transmissivité croissant

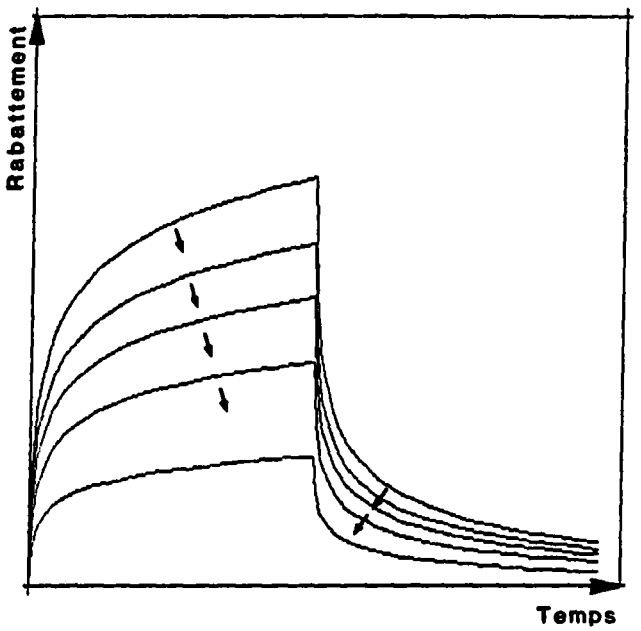


Figure 3.11 - Rabattements calculés pour des contrastes de transmissivités croissants

: demi-longueur de fracture croissante

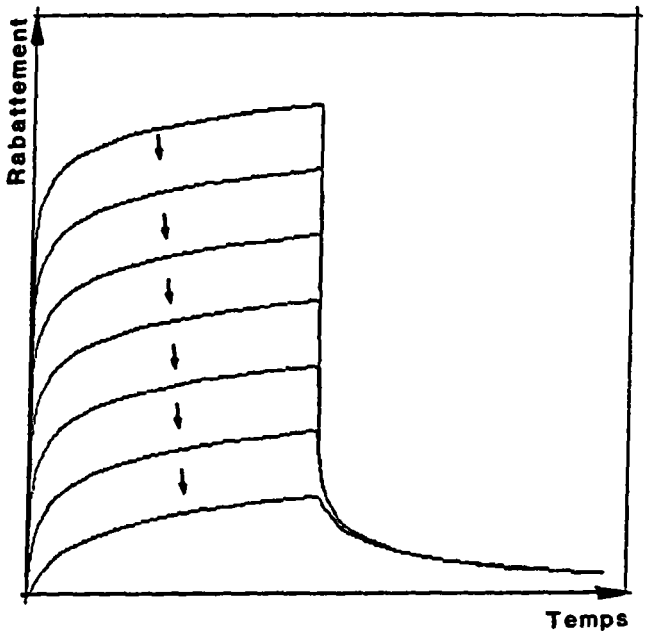


Figure 3.12 - Rabattements calculés pour des demi-longueurs de fracture croissantes

III.8 -INFLUENCE DES PARAMETRES DE CALAGE SPECIFIQUES A LA METHODE DE FRACTURE UNIQUE (fig. 3.11 et 3.12)

Le contraste de transmissivité Tx/Ty

Pour une valeur Tx donnée, l'augmentation du contraste de transmissivité a pour effet de diminuer la valeur des rabattements calculés, aussi bien pour la descente que pour la remontée.

Cette variation est cependant nettement moins importante durant la phase de remontée : l'augmentation du contraste de transmissivité se traduit par une diminution des rabattements durant l'ensemble de la période pompage + remontée.

La demi-longueur de fracture xf

L'influence de ce paramètre est semblable à celle du coefficient d'emmagasinement. On obtient des calages identiques pour toutes valeurs de S et xf telles que le produit $S.x^2f$ reste constant.

Nota

Une option du logiciel ISAPE permet, **pour un calage donné**, le calcul automatique de Tx et S pour différentes valeurs de Tx/Ty et/ou xf.

Tx/Ty /	. rabattements calculés \
	. effets analogues à T /
xf /	. effets identiques à $\sqrt{S}$ /

f : coefficient de perte de charge quadratique croissant

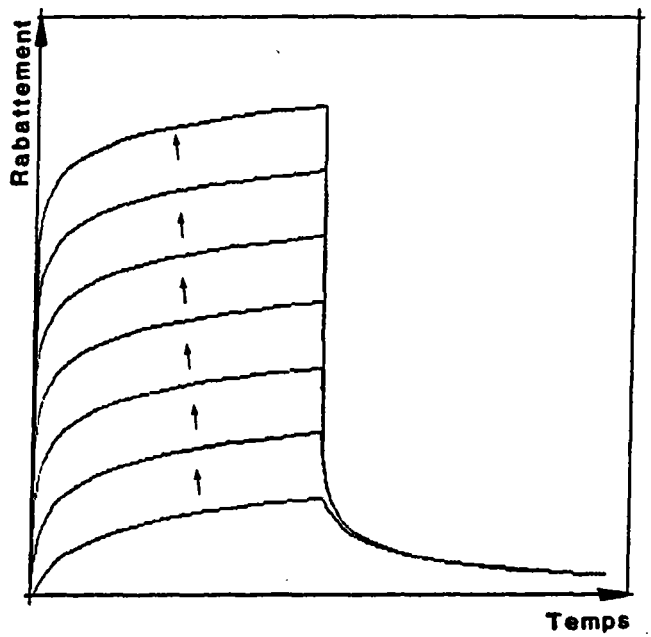


Figure 3.13 - Rabattements calculés pour des pertes de charge quadratiques croissantes

III.9 -INFLUENCE DU COEFFICIENT DE PERTE DE CHARGE (AU PUITS DE POMPAGE) (fig. 3.13)

Les pertes de charge quadratique ont pour expression :

$\Delta s = B.Q^2$

- Δs : perte de charge (L)
- B : coefficient de perte de charge quadratique (T^2/L^5), paramètre de calage introduit dans ISAPE
- Q : débit prélevé (L^3/T)

L'influence des pertes de charge s'exerce uniquement sur la courbe de descente et entrainent une augmentation des rabattements proportionnelle au carré des débits.

B ↗	. translation en fonction du carré des débits de la courbe de descente vers des valeurs de rabattement plus fortes . la courbe de remontée n'est pas modifiée

Paramètre et sens de variation	Influence
T /	. rabattements calculés \
Tx/Ty /	. valeur asymptotique du rabattement plus rapidement atteinte
S /	. translation de la courbe des rabattements vers des valeurs plus faibles
R obs /	
B \	. pas de modification de la courbe de remontée
X^2 f /	
T / et S \	. atténuation de la courbure des courbes de descente et de remontée
Présence d'une limite	. point d'inflexion sur la courbe de descente dont la date dépend de la distance limite / point d'observation
Limite étanche	. majoration des rabattements calculés
Limite alimentée	. minoration des rabattements calculés
Deux limites parallèles	. influence : somme des influences dues à chaque limite . deux points d'inflexion sur la courbe de descente . la limite la plus proche du point d'observaltion a une influence majeure

Tableau 3.2 - Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres de calage sur la forme des courbes théoriques calculées.

CHAPITRE IV

NOTICE D'UTILISATION DU PREPROCESSEUR SAIPE

IV - NOTICE D'UTILISATION DU PREPROCESSEUR SAIPE

IV.1 - GENERALITES

Le logiciel SAIPE (Saisie des Pompages d'Essai) permet la création d'un fichier normalisé de données de pompage d'essai utilisable par le logiciel d'interprétation ISAPE.

Ce fichier est organisé selon la présentation habituelle adoptée pour les mesures de pompages d'essai. Il comprend :

a - un titre récapitulant les caractéristiques générales du forage ainsi que les unités employées

b - les mesures (temps - rabattement - débit).

SAIPE permet aussi bien de constituer un nouveau fichier que d'en corriger un déjà existant. Son utilisation s'effectue entièrement en mode conversationnel. Une procédure de correction permet à chaque étape de la saisie, de modifier toute valeur entrée.

Toutes les réponses à fournir sont en majuscules : il est par conséquent préférable de bloquer le clavier dans cette position dès le début de l'exécution du programme.

IV.2 - MODE D'UTILISATION : CREATION D'UN FICHIER DE DONNEES

Nota : dans les pages qui suivent, **RETURN** signifie : "taper sur la touche **RETURN**".

IV.2.1 - Appel du logiciel (procédure VAX)

Lors de la première exécution :

- Entrer dans le menu de la programmathèque du département EAU en tapant : **MENU RETURN**

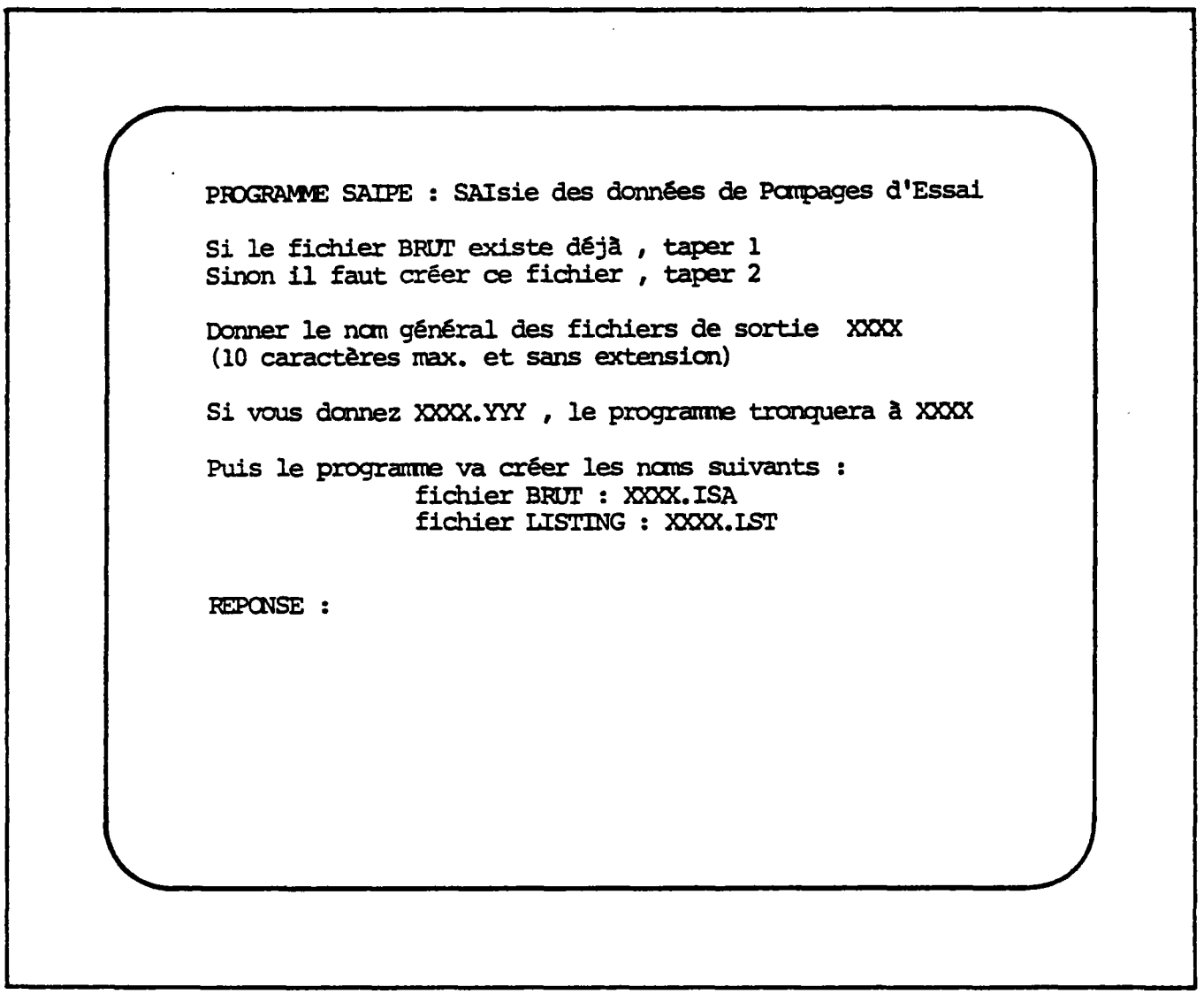

PROGRAMME SAIPE : SAIsie des données de Pompages d'Essai
Si le fichier BRUT existe déjà , taper 1
Sinon il faut créer ce fichier , taper 2
Donner le nom général des fichiers de sortie XXXX
(10 caractères max. et sans extension)
Si vous donnez XXXX.YYY , le programme tronquera à XXXX
Puis le programme va créer les noms suivants :
fichier BRUT : XXXX.ISA
fichier LISTING : XXXX.LST
REPONSE :

Figure 4.1 - Dénomination du fichier à traiter

- A la question : **COMMANDE ?**
  répondre : **SAIPE RETURN**

L'exécution de SAIPE est lancée.

Il suffit ensuite de taper simplement SAIPE pour relancer l'exécution.

IV.2.2 - Dénomination du fichier à traiter (fig. 4.1)

Cette page-écran comporte deux parties qui s'enchaînent.

1 - Choix de traitement à réaliser

Il est possible :
- de modifier un fichier existant
- de créer un fichier
- choisir l'option désirée, en l'occurence 2 pour créer un fichier **RETURN.**

2 - Nom de fichier

Le nom de fichier doit comporter au maximum 10 caractères et ne doit comporter ni suffixe, ni point. Entrer le nom choisi **RETURN.**

Pour un fichier de nom :	le programme va créer automatiquement le fichier brut :
NOM	
ou	
NOM.DAT	
ou	NOM.ISA
NOM.BID	
ou	
NOM.ISA	Utilisable par le logiciel ISAPE

S'il existe dans la directory de travail un fichier portant le même nom que celui que l'on désire créer, un message informe de l'impossibilité d'une telle création et demande un autre nom à l'opérateur.

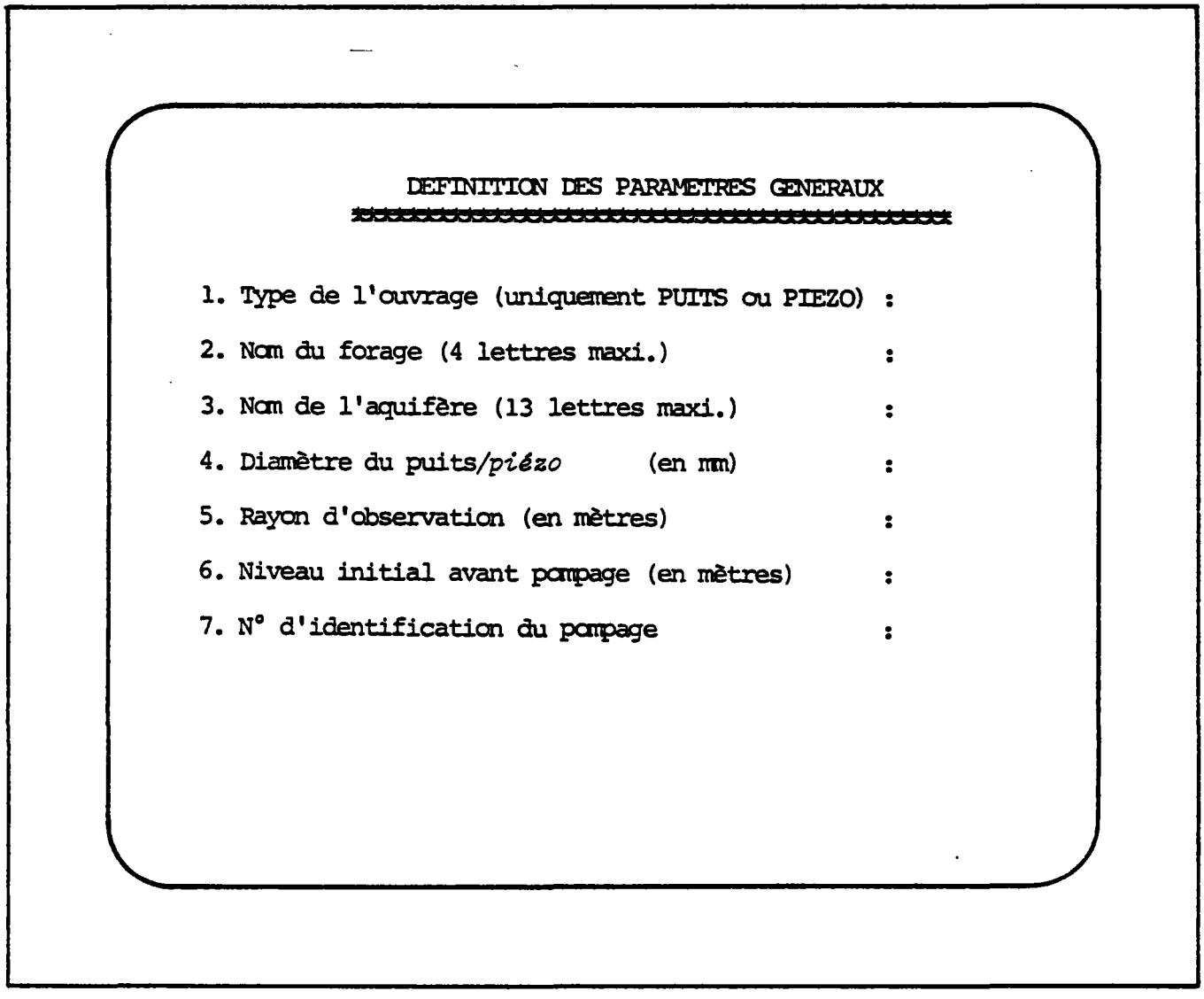

DEFINITION DES PARAMETRES GENERAUX
1. Type de l'ouvrage (uniquement PUITS ou PIEZO) :
2. Nom du forage (4 lettres maxi.) :
3. Nom de l'aquifère (13 lettres maxi.) :
4. Diamètre du puits/piézo (en mm) :
5. Rayon d'observation (en mètres) :
6. Niveau initial avant pompage (en mètres) :
7. N° d'identification du pompage :

Figure 4.2 - Définition des paramètres généraux

IV.2.3 - Définition des paramètres généraux (fig. 4.2)

Répondre aux questions en respectant les dimensionnements maximaux pour les chaînes de caractères à fournir puis **RETURN.**

Remarques :

- Question 1 : si le mot saisi est différent de PUITS ou PIEZO, la question 1 est posée à nouveau
- Questions 2 et 3 : tout message de longueur supérieure au maximum indiqué est tronqué
- Questions 4, 5 et 6 : respecter les unités demandées.

Nota : Définition du rayon d'observation :

- au puits de pompage, il équivaut, en première approximation, au rayon du puits au droit de l'aquifère sollicité,
- au piézomètre, il équivaut à la distance puits-piézomètre.

IV.2.4 - Correction éventuelle du titre saisi (fig. 4.3 et 4.4)

- Le titre saisi est rappelé à l'écran (exemple de la figure 4.3).
- Après relecture, l'utilisateur peut choisir :
  . de ne pas corriger le titre (réponse : N) **RETURN.** Le logiciel passe directement à la séquence décrite au paragraphe IV.2.5,
  . d'apporter des corrections au titre (réponse : O) **RETURN.**

Le titre est effacé à l'écran et la liste des paramètres généraux est rappelée, chaque paramètre étant accompagné d'un code-chiffre (fig. 4.4).

-> choisir le n° de la question à modifier. **RETURN**
Celle-ci est rappelée à l'écran. Répondre en respectant les dimensionnements des chaînes de caractères. **RETURN**

Plusieurs rubriques peuvent être ainsi modifiées successivement.

-> le code O permet de recommencer entièrement la saisie (paragraphe IV.2.3) afin de corriger l'ensemble des paramètres généraux.

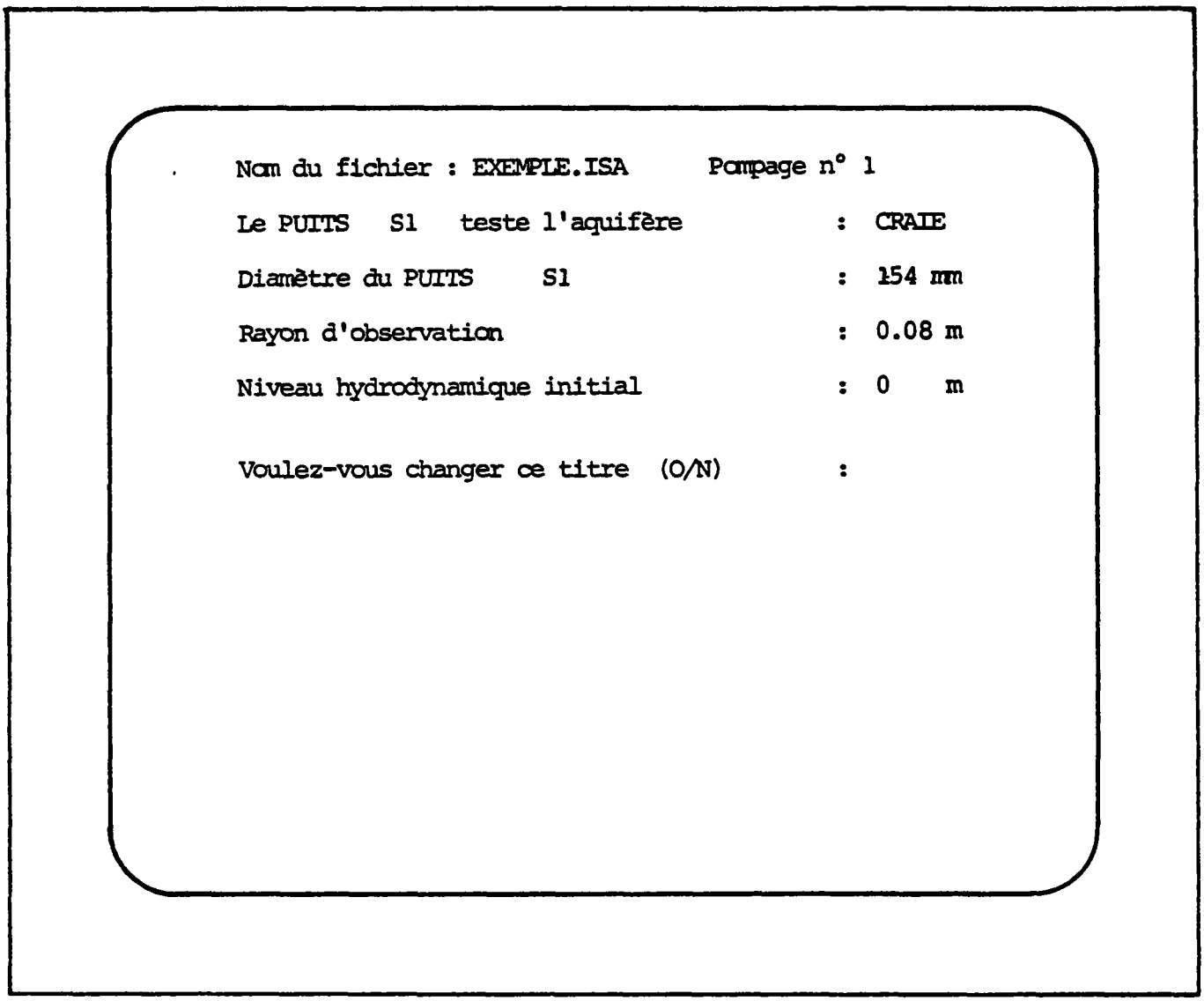

Nom du fichier : EXEMPLE.ISA Pompage n° 1
Le PUITS S1 teste l'aquifère : CRAIE
Diamètre du PUITS S1 : 154 mm
Rayon d'observation : 0.08 m
Niveau hydrodynamique initial : 0 m
Voulez-vous changer ce titre (O/N) :

Figure 4.3 - Rappel du titre saisi

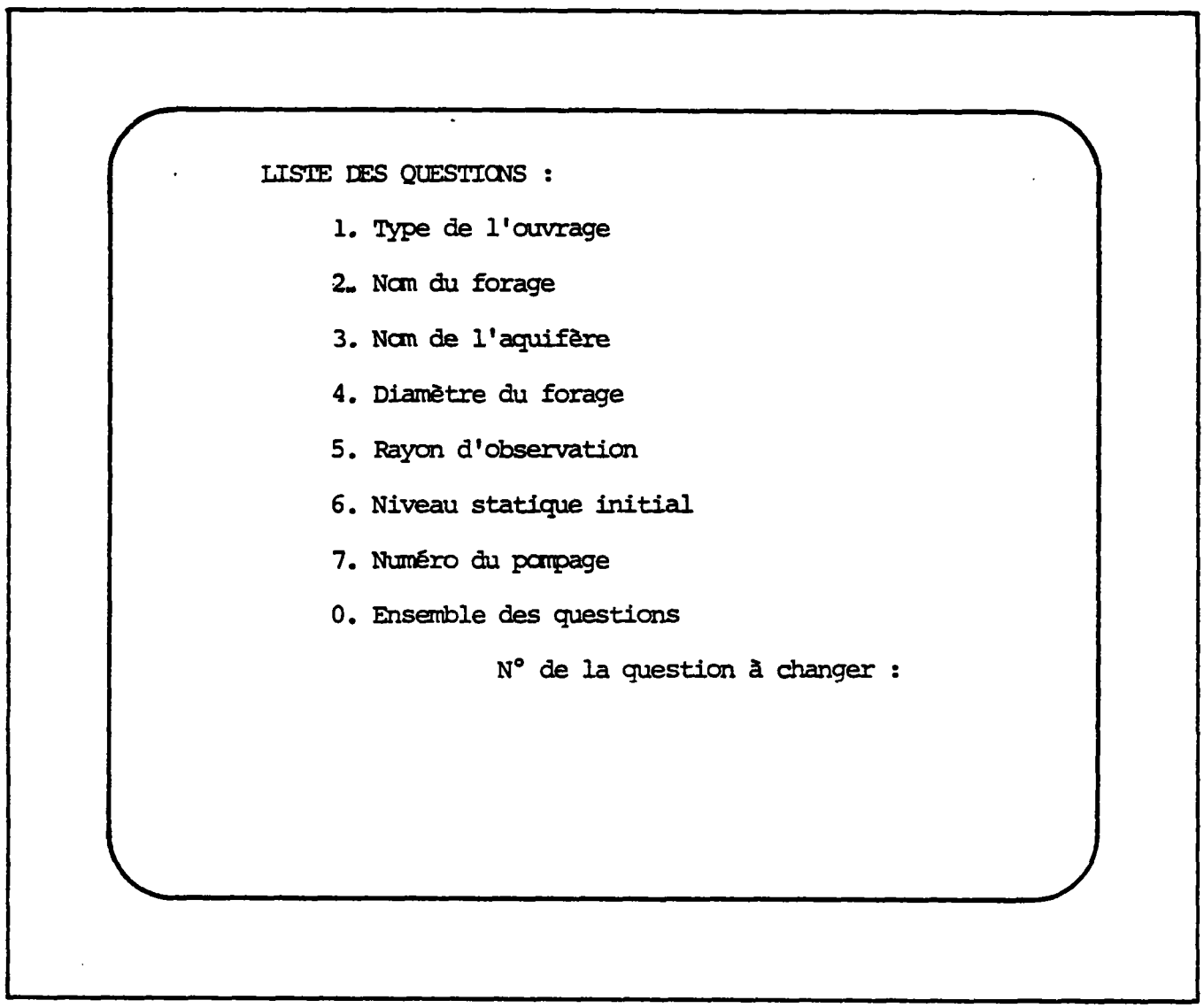

LISTE DES QUESTIONS :
1. Type de l'ouvrage
2. Nom du forage
3. Nom de l'aquifère
4. Diamètre du forage
5. Rayon d'observation
6. Niveau statique initial
7. Numéro du pompage
0. Ensemble des questions
N° de la question à changer :

Figure 4.4 - Correction éventuelle du titre saisi

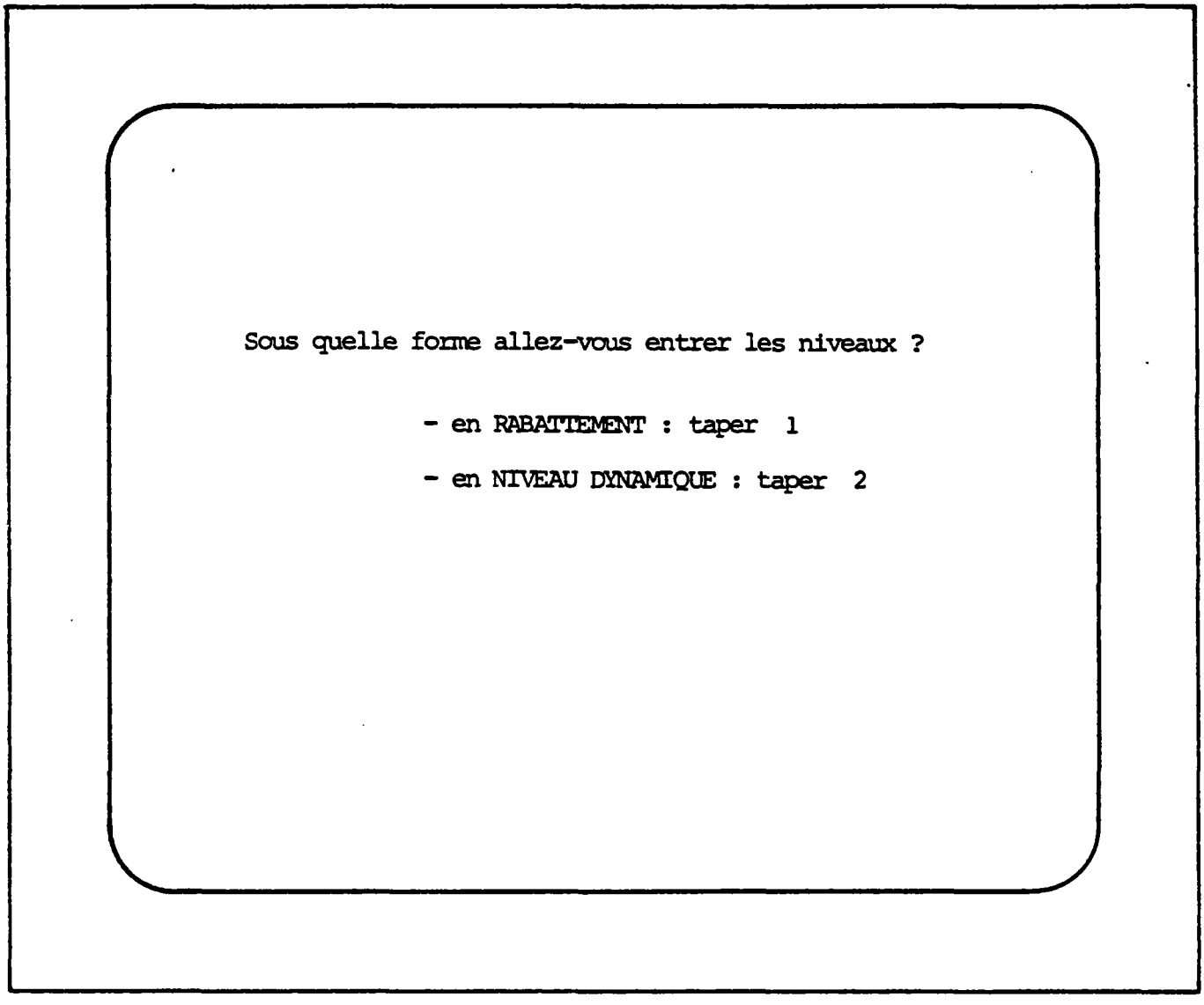


Figure 4.5 - Nature des données de niveau

IV.2.5 - Nature des données de niveau (fig. 4.5)

ISAPE traite des données de niveau exprimées en **rabattements** (différence entre niveau dynamique mesuré au cours du pompage et niveau initial au début du pompage).

Si les mesures dont on dispose sont des niveaux dynamiques, l'option 2 de ce paragraphe permet leur transformation automatique en rabattements **en début d'utilisation du logiciel ISAPE.**

IV.2.6 - Choix des unités des données expérimentales (fig. 4.6)

- Unité des temps

  4 unités sont possibles :
  - jours
  - heures
  - minutes
  - secondes (transformées automatiquement en minutes en fin de saisie)

  Choisir le code chiffre correspondant **RETURN**

- Unité de débit

  3 unités sont proposées :
  - l/s
  - m^3/s
  - m^3/h

  Choisir le code chiffre correspondant **RETURN**

Nota :

Les rabattements et les niveaux dynamiques sont **obligatoirement exprimés en mètres.**

RETURN permet de passer à la phase de saisie des données proprement dites.

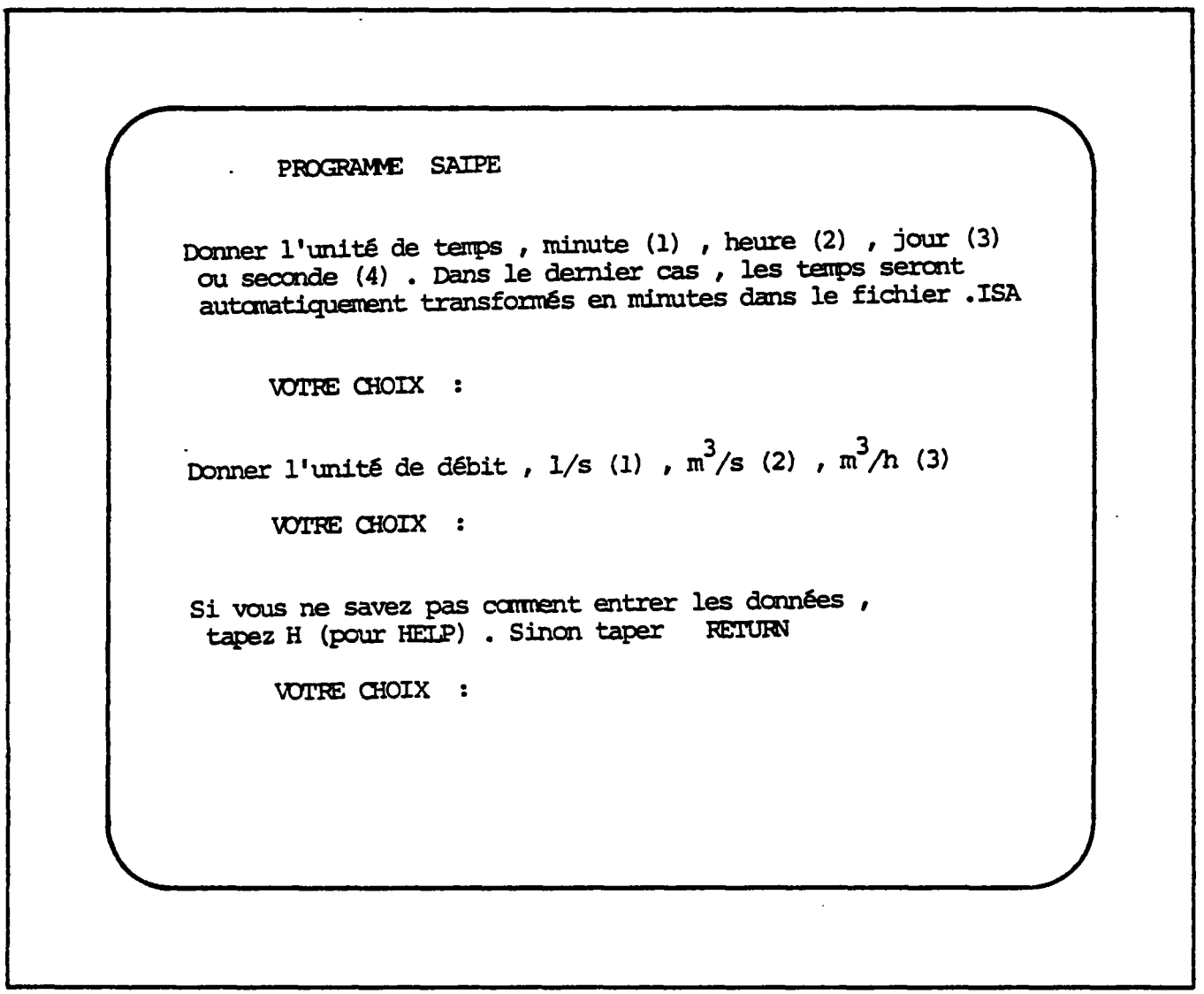

PROGRAMME SAIPE
Donner l'unité de temps , minute (1) , heure (2) , jour (3)
ou seconde (4) . Dans le dernier cas , les temps seront
automatiquement transformés en minutes dans le fichier .ISA
VOTRE CHOIX :
Donner l'unité de débit , l/s (1) , m3/s (2) , m3/h (3)
VOTRE CHOIX :
Si vous ne savez pas comment entrer les données ,
tapez H (pour HELP) . Sinon taper RETURN
VOTRE CHOIX :

Figure 4.6 - Choix des unités des données expérimentales

IV.2.7 - Saisie des données expérimentales

Pour chaque pas de mesure, les données à saisir sont (fig. 4.7) :

- un code indiquant la phase du pompage (descente ou remontée) ou donnant accès à certaines opérations (suppression de lignes, fin de la saisie)

- le temps (initialisé à 0 en début de chaque palier de descente ou de remontée)

- le niveau dynamique ou le rabattement

- le débit (pour les phases de descente).

Le curseur se positionne automatiquement sur la ligne face à la variable à saisir. Toute réponse incorrecte entraîne l'affichage d'un message d'erreur. Après ce message, **RETURN** replace le curseur sur la valeur incorrecte pour que celle-ci soit modifiée.

Après chaque ligne saisie, les données sont réécrites selon un format standart. Chaque page-écran comporte 18 lignes de saisie.

IV.2.7.1 - Début de la saisie

En début de saisie, le curseur se situe sur le code lettre I de la ligne n°1, en attente d'une initialisation.

RETURN fait apparaître les réponses autorisées

D : Descente
R : Remontée
S : Suppression
F : Fin

RETURN permet de revenir en position d'initialisation du code lettre.

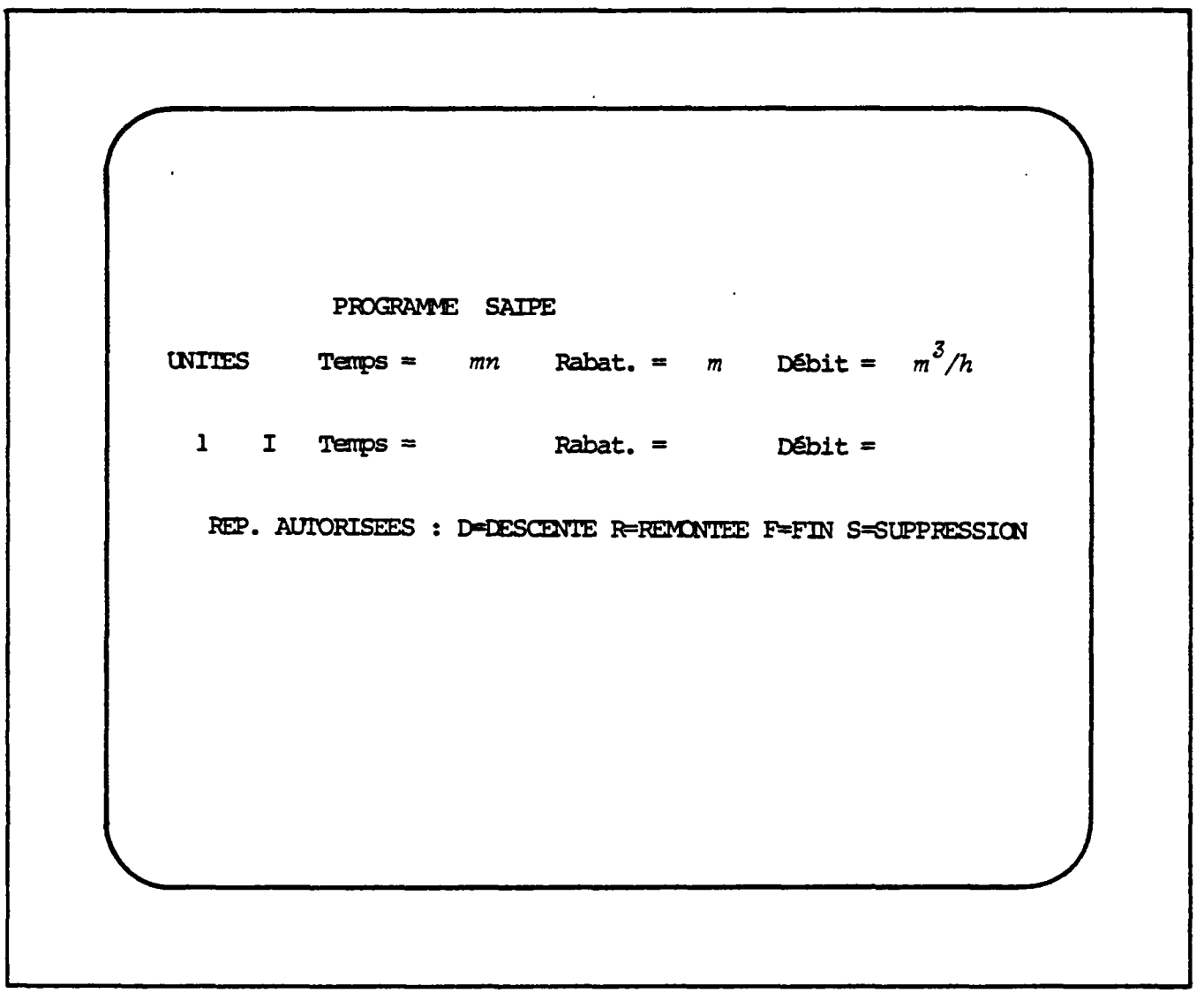

PROGRAMME SAIPE
UNITES Temps = mn Rabat. = m Débit = m3/h
1 I Temps = Rabat. = Débit =
REP. AUTORISEES : D=DESCENTE R=REMONTEE F=FIN S=SUPPRESSION

Figure 4.7 - Saisie des données expérimentales

IV.2.7.2 - Phase de descente

Le début de saisie correspond au début d'un pompage, autrement dit au début d'une **descente.**

Taper D **RETURN**

Le logiciel initialise automatiquement :
- le temps à 0
- le rabattement à 0
  ou le niveau dynamique au niveau statique initial et reste en attente d'une valeur de débit.
  Entrer la valeur de débit du début du pompage **RETURN**

Le logiciel réécrit automatiquement la ligne saisie et vient se positionner à la ligne n°2 sur le code-lettre initialisé à D.

A partir de cet instant, toute variable de la ligne n° i-1 que l'on désire conserver à la ligne n°i est saisie automatiquement en tapant RETURN.

Le temps, par contre, doit nécessairement être incrémenté positivement.

- Saisie de la ligne n°2

- Code lettre : le curseur lumineux étant positionné sur D, **RETURN** valide ce code

- Temps : entrer une valeur **strictement supérieure** à la valeur saisie à la ligne 1 **RETURN**

- Rabattement : entrer un rabattement différent (valeur **RETURN**) ou égal (**RETURN**) à celui de la ligne précédente

- Débit : entrer un débit différent (valeur **RETURN**) ou égal (**RETURN**) à celui de la ligne précédente.

Poursuivre la saisie des données de la phase de descente, selon le protocole ainsi défini.

Lorsque celle-ci est terminée, deux possibilités sont offertes :
- fin de la saisie
- saisie des données de la phase de remontée.

IV.2.7.3 - Saisie des données de remontée

Le curseur lumineux étant positionné sur le code lettre D, taper R **RETURN.**

Le logiciel réinitialise automatiquement :
- le temps à 0
- le rabattement ou le niveau dynamique à la valeur de la ligne précédente
- le débit à 0

Le curseur se positionne sur le code-lettre de la ligne suivante.

Procéder ensuite selon le protocole de saisie énoncé précédemment.

Nota :

Après avoir entré la valeur du rabattement, **RETURN** affecte automatiquement une valeur nulle au débit et permet de passer à la saisie de la ligne suivante.

Plusieurs paliers de descente-remontée peuvent ainsi être enchaînés au cours de la saisie.

IV.2.7.4 - Commande de suppression de lignes en cours de saisie

Taper le code lettre S **RETURN**
A la question **nombre de lignes à supprimer :**
taper le nombre désiré **RETURN**

La page en cours de saisie est réécrite, les n dernières lignes désignées étant supprimées. Le curseur lumineux vient se positionner sur le code lettre de la première ligne supprimée.

IV.2.7.5 - Commande de fin de saisie

Taper le code lettre F **RETURN**
Le message suivant apparaît :

FIN DE LA SAISIE
ETAPE DE CORRECTION PAGE PAR PAGE
TAPER [RETURN]

Chaque page saisie est affichée de nouveau à l'écran, accompagnée du message : **"Numéro de la ligne à corriger (0 pour passer à la page suivante) :** entrer le code chiffre désiré : N **RETURN.**

Trois codes-lettre sont alors proposés :
C : correction
I : insertion
S : suppression

Correction :

Le curseur lumineux vient se positionner sur le code lettre de la ligne désignée n° N.

4 corrections sont possibles :
- code lettre
- temps
- rabattement
- débit

pour se déplacer d'une rubrique à l'autre sans modification : **RETURN**
pour modifier une rubrique : taper la nouvelle valeur : **RETURN**

Insertion

Cette instruction signifie que l'on désire insérer une ligne à l'emplacement de la ligne désignée n° N.

A cet effet, la ligne désignée n° N est dupliquée. L'ensemble de la page est réécrite, avec renumérotation des lignes : les lignes N et N + 1 sont identiques. Le curseur lumineux est positionné sur le code lettre de la ligne n° N.

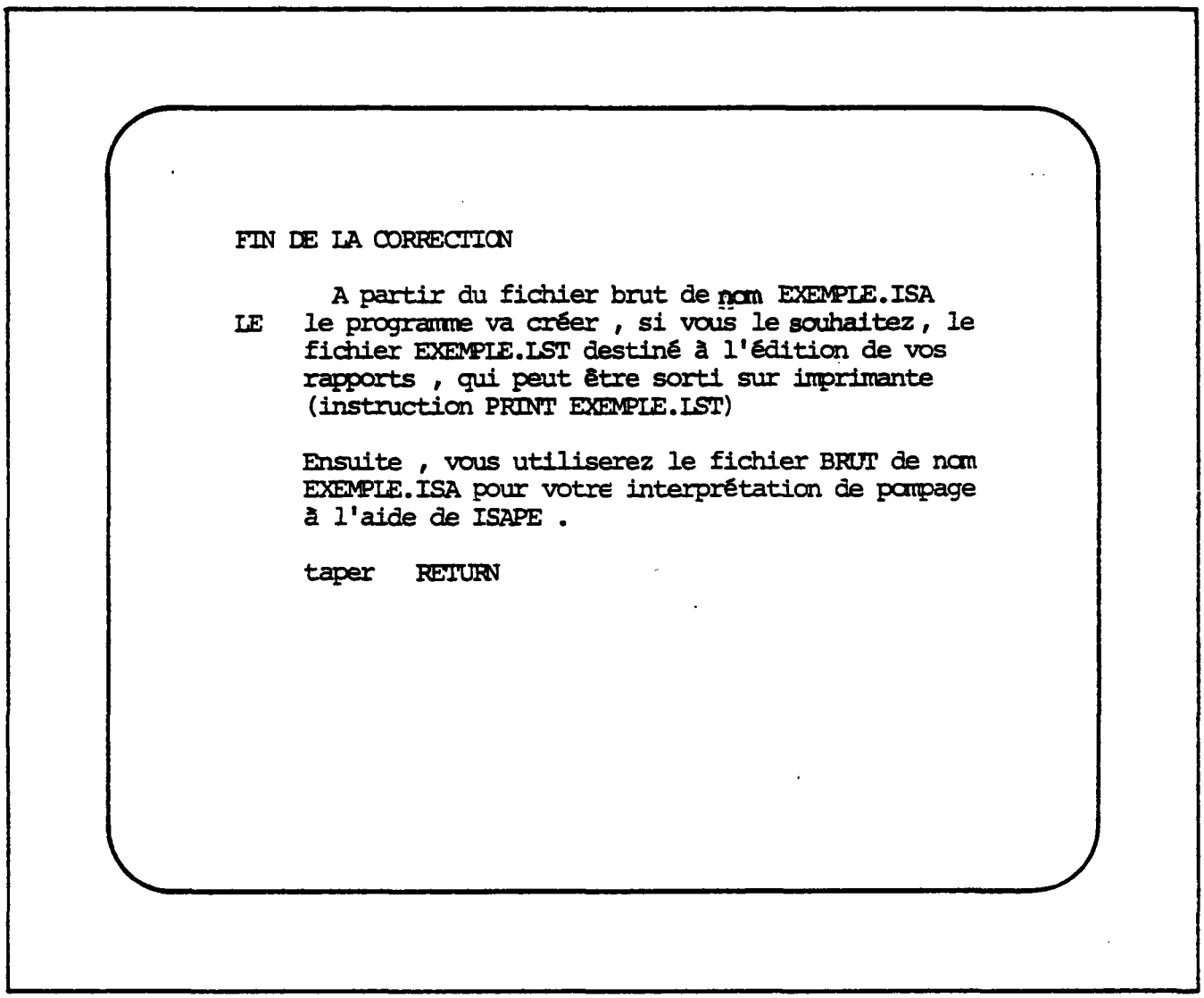

FIN DE LA CORRECTION
A partir du fichier brut de nom EXEMPLE.ISA
LE le programme va créer , si vous le souhaitez , le
fichier EXEMPLE.LST destiné à l'édition de vos
rapports , qui peut être sorti sur imprimante
(instruction PRINT EXEMPLE.LST)
Ensuite , vous utiliserez le fichier BRUT de nom
EXEMPLE.ISA pour votre interprétation de pompage
à l'aide de ISAPE .
taper RETURN

Figure 4.8 - Fin de la phase de correction

- Si l'on désire une insertion **au-dessus** de la ligne N, **modifier la ligne N.**
- Si l'on désire une insertion **au-dessous** de la ligne N, **valider la ligne N** puis **corriger** (selon la procédure décrite précédemment) **la ligne N + 1.**

Suppression

La ligne désignée n° N est supprimée. L'ensemble de la page est réécrite, avec renumérotation des lignes.

En fin de correction, le message de la figure 4.8 est affiché à l'écran. Après lecture, **RETURN.**

IV.2.7.6 - Création éventuelle d'un fichier listing pour les rapports (fig. 4.9)

Si la réponse est positive, le logiciel crée automatiquement un fichier dont le nom est identique à celui de fichier de données, mais où le suffixe .ISA est remplacé par .LST.

Fin de l'exécution de SAIPE.

IV.3 - MODE D'UTILISATION : MODIFICATION D'UN FICHIER CREE, LORS D'UNE SAISIE ANTERIEURE, A L'AIDE DE SAIPE

La démarche est très voisine de celle décrite au paragraphe IV.2. Seules les différences seront soulignées.

IV.3.1 - Appel du logiciel

Idem § IV.2.1.

IV.3.2 - Dénomination du fichier à traiter

IV.3.2.1 - Choix du traitement à réaliser

Choisir l'option 1 (modification d'un fichier existant) **RETURN**

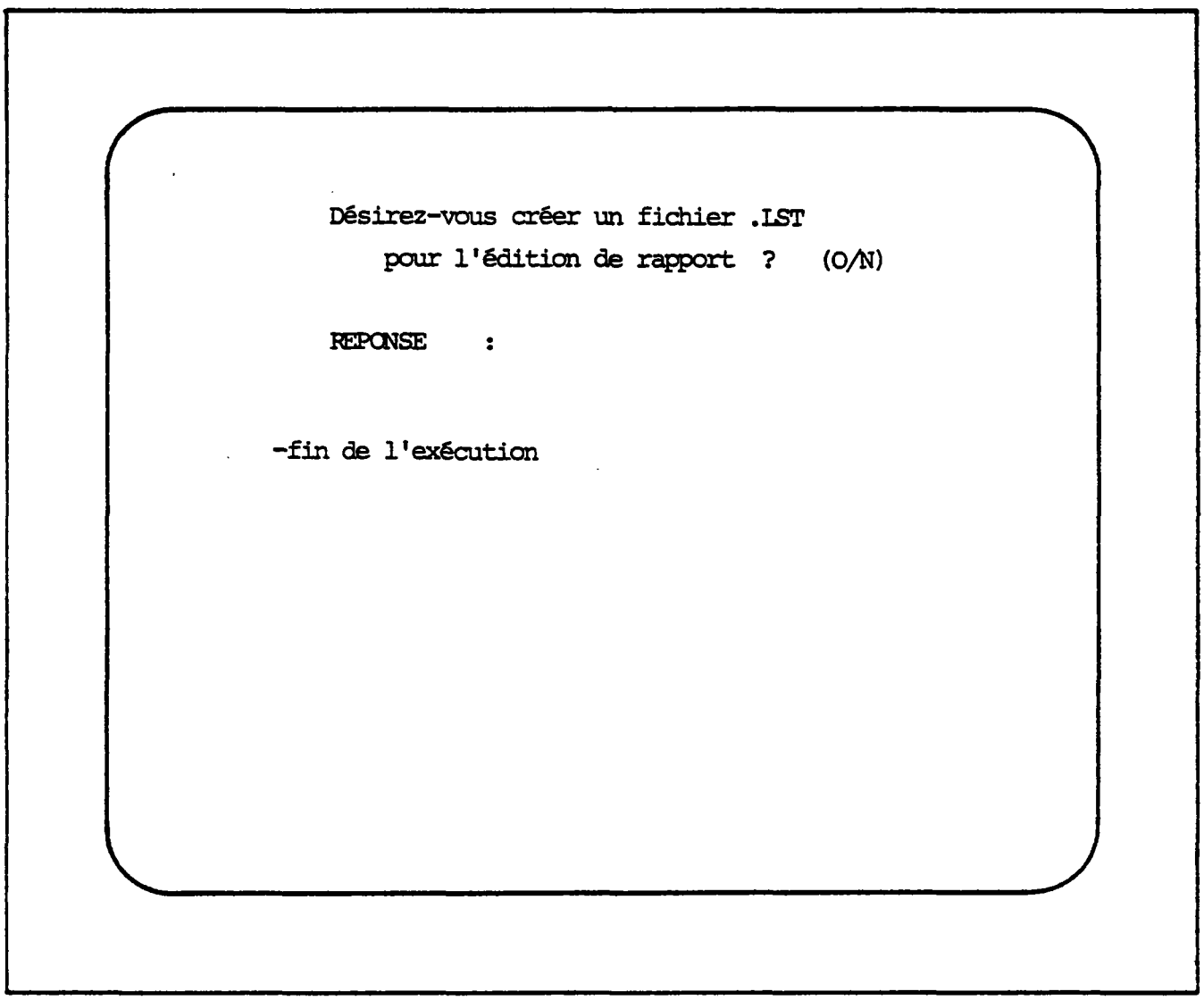


Figure 4.9 - Création d'un fichier listing et fin d'exécution du programme

IV.3.2.2 - Choix du nom de fichier

Entrer un nom de la forme xxxx.ISA **RETURN**

Le logiciel vérifie que ce fichier se trouve bien dans la directory de travail et le message suivant apparaît :

Voulez-vous effectuer des corrections sur le fichier BRUT (O/N) :

- Si la réponse est négative, le déroulement du programme renvoie au paragraphe IV.2.7.6 (création éventuelle d'un fichier listing).

- Si la réponse est positive (fig. 4.10) :
  - renvoi au paragraphe IV.2.4 (correction éventuelle du titre saisi)
  - puis, possibilité de correction des unités de temps et de débit en entrant les codes-chiffre proposés
  - renvoi à la séquence de corrections du paragraphe IV.2.7.5 (corrections page par page)
  - renvoi au paragraphe IV.2.7.6 (création éventuelle d'un fichier listing).

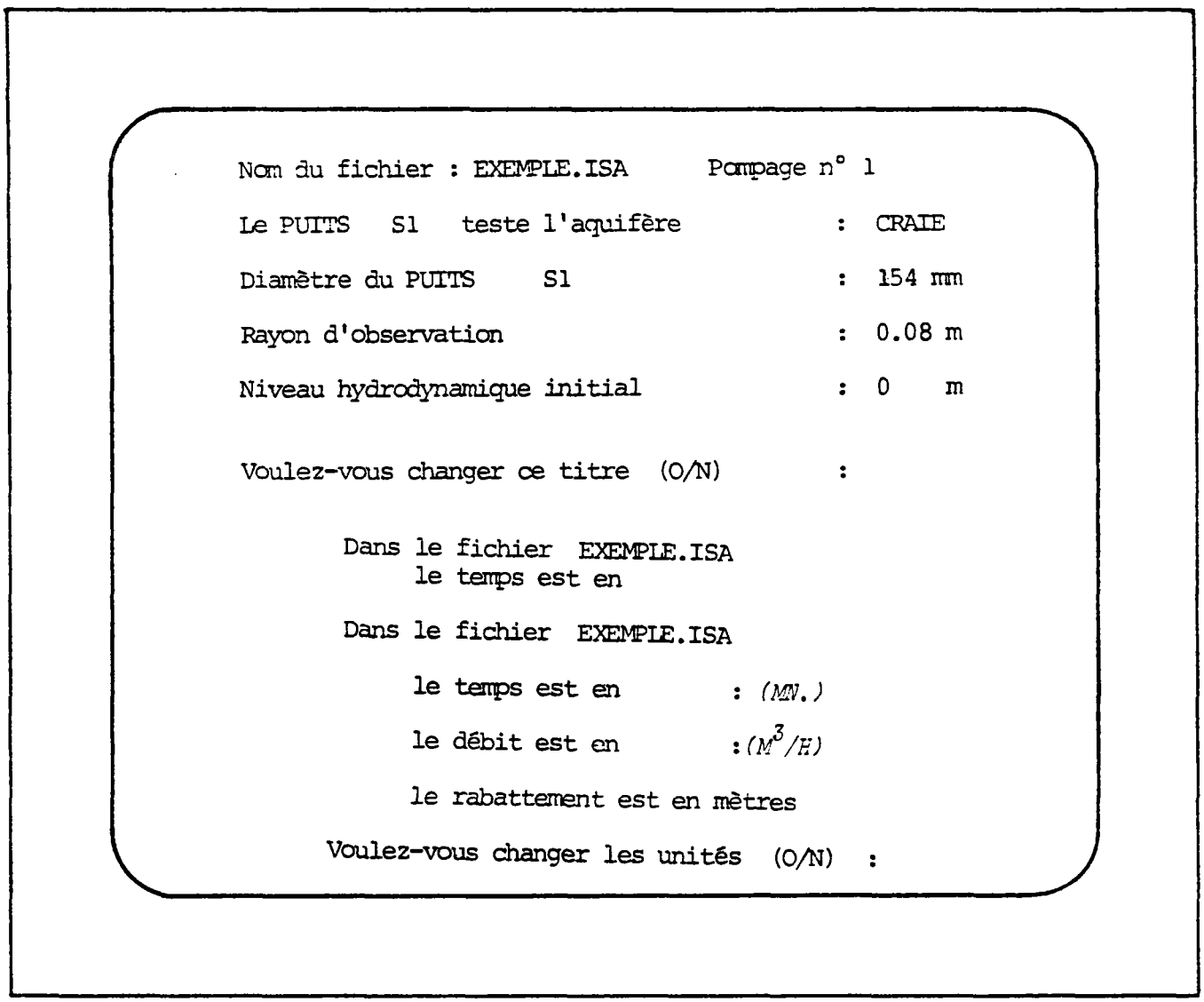

Nom du fichier : EXEMPLE.ISA Pompage n° 1
Le PUITS S1 teste l'aquifère : CRAIE
Diamètre du PUITS S1 : 154 mm
Rayon d'observation : 0.08 m
Niveau hydrodynamique initial : 0 m
Voulez-vous changer ce titre (O/N) :
Dans le fichier EXEMPLE.ISA
le temps est en
Dans le fichier EXEMPLE.ISA
le temps est en : (MN.)
le débit est en : (M3/H)
le rabattement est en mètres
Voulez-vous changer les unités (O/N) :

Figure 4.10 - Correction de l'entête d'un fichier brut précédemment créé

CHAPITRE V

NOTICE D'UTILISATION DU LOGICIEL ISAPE

V - NOTICE D'UTILISATION DU LOGICIEL ISAPE

Dans les pages qui suivent, **RETURN** signifie : "taper sur la touche RETURN".

Toutes les réponses à fournir sont en majuscules : il est par conséquent préférable de bloquer le clavier dans cette position dès le début de l'exécution du programme.

V.1 - PRESENTATION GENERALE DU PROGRAMME

V.1.1 - Introduction

Le logiciel ISAPE (Interprétation Semi-Automatique des Pompages d'Essai) est conçu de manière à offrir une grande facilité de mise en oeuvre permettant aux utilisateurs non familiarisés avec l'informatique d'apprécier immédiatement les avantages de ce mode d'interprétation comparé à une interprétation "manuelle" classique.

L'utilisation du logiciel ISAPE s'effectue entièrement en mode conversationnel avec possibilité d'accès, à chaque étape et à tout moment, à un système d'aide à l'utilisateur très détaillé.

Toute réponse de l'opérateur est analysée par le logiciel : en cas de non conformité avec la réponse attendue, la question est systématiquement reposée, ce qui permet d'éviter toute interruption accidentelle du déroulement du programme.

ISAPE est organisé en une succession de pages-écran correspondant chacune à une saisie de données ou à l'affichage d'informations :

PAGE 00 : Nom du fichier de données à traiter
PAGE 01 : Informations sur le pompage traité
PAGE 02 : Paramètres de lecture du fichier de données
PAGE 03 : Informations sur les caractéristiques des paliers de débit
PAGE 04 : Choix de la méthode d'interprétation
PAGE 05 : Choix de la géométrie du modèle d'interprétation

PAGE 06 : Choix des paramètres d'effet de puits (uniquement dans le cas d'un puits de pompage)

PAGE 07 : Définition de la fenêtre du tracé

PAGE 08 : Rappel de l'ensemble des paramètres du calage

PAGE 09 : Envoi d'un graphique sur traceur

PAGE MENU :
- saisie des paramètres hydrodynamiques
- renvoi pour consultation ou modification à l'une des pages 01 à 08
- effacement des courbes calculées en gardant éventuellement le dernier résultat
- tracé d'un graphique donnant la différence entre rabattement calculé et rabattement mesuré.

Pour chacune des pages, l'utilisateur peut :

- valider directement les paramètres proposés par le logiciel,
- modifier une partie ou l'ensemble des paramètres proposés,
- appeler le système d'aide à l'utilisateur qui fournit des renseignements concernant :
  . le principe de la saisie et des corrections
  . la signification des paramètres saisis accompagnée, le cas échéant, de schémas explicatifs.

V.1.2 - Présentation d'une page

Chaque page est organisée à l'écran de la manière suivante :
- n° et titre de la page
- une suite de rubriques correspondant chacune aux paramètres à saisir. (Ces rubriques sont numérotées en ordre croissant)
- une ligne menu en bas de page.

La ligne menu offre trois possibilités :
- modification d'une rubrique (en tapant le numéro de la rubrique à modifier **RETURN**)
- appel de l'aide à l'utilisateur (H **RETURN**)
- validation des informations contenues dans la page et passage à la page suivante : **RETURN**

Toute autre réponse que celles-ci entraîne l'apparition d'un message d'erreur précisant les réponses possibles ; ce message disparaît en tapant **RETURN.**

V.1.3 - Principe de la saisie et des corrections

V.1.3.1 - Principe de la saisie

Les informations concernant la description de l'ouvrage sont lues, en début d'exécution, dans le fichier de données. Ces informations sont ensuite rappelées dans les pages-écran.

D'autre part, des valeurs calculées automatiquement par le logiciel à partir des données sont systématiquement proposées pour chaque rubrique afin de permettre une acquisition rapide et simplifiée. L'utilisateur conserve la possibilité de modifier ces valeurs proposées en employant la procédure de correction normalisée.

V.1.3.2 - Procédure de correction

- Sur la ligne menu, taper le numéro de la rubrique à modifier **RETURN**
- la rubrique à modifier apparaît en caractères lumineux. Le message **entrer la nouvelle valeur** apparaît en bas de l'écran
- le curseur est positionné sur la ligne à modifier tandis que la valeur précédente est effacée. Le signe "<-" limite à droite l'espace alloué pour écrire la nouvelle donnée. Les chiffres dépassant le symbole ne seront pas pris en compte
- taper la nouvelle valeur. **RETURN** valide la réponse.

Nota :

La valeur précédente peut être conservée en appuyant directement sur **RETURN** sans entrer de nouvelle valeur.

La rubrique modifiée est réécrite en caractères normaux selon les formats fixés. Après la modification d'une rubrique dans une page, le programme revient automatiquement à la ligne menu.

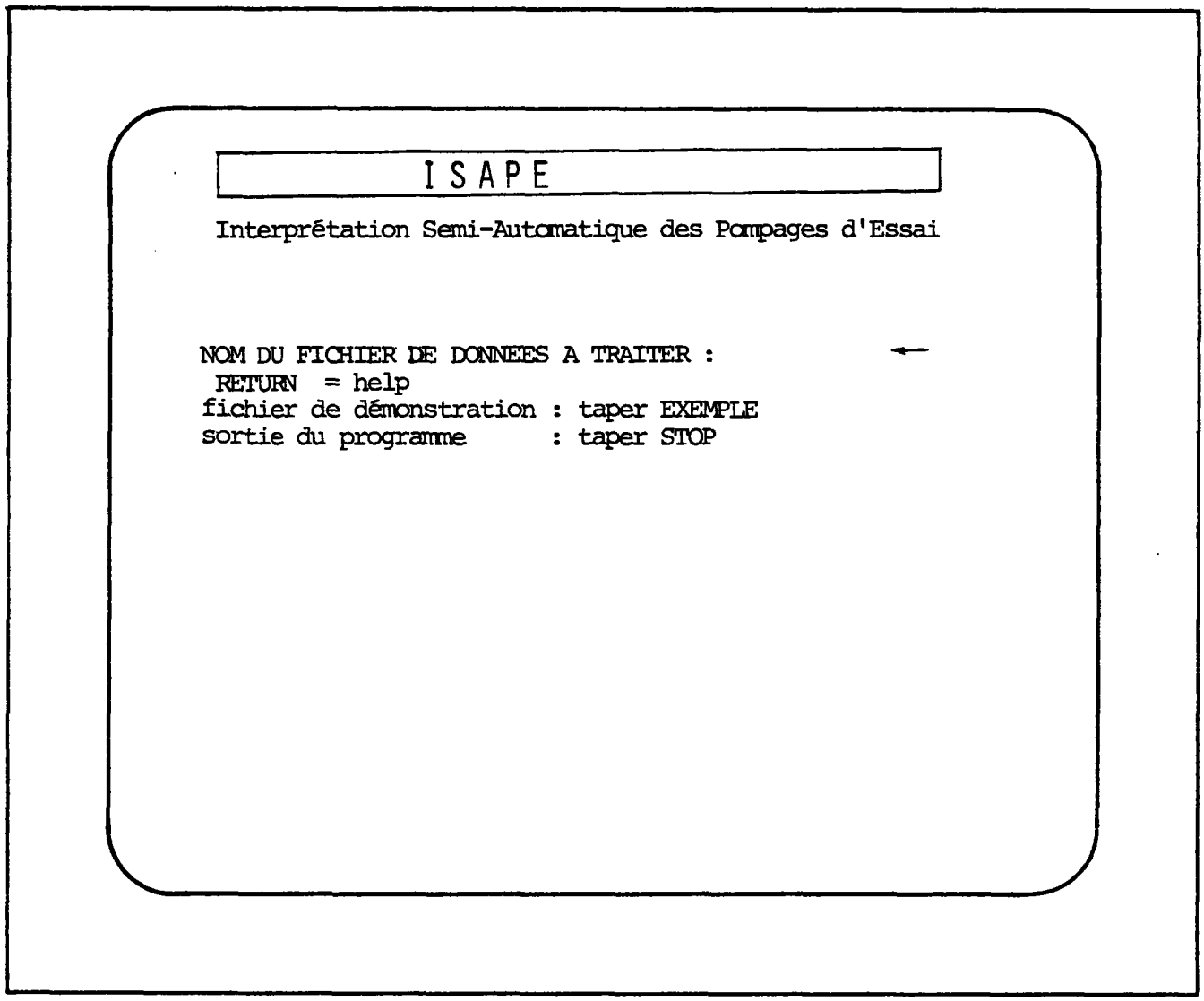

ISAPE
Interprétation Semi-Automatique des Pompages d'Essai
NOM DU FICHIER DE DONNEES A TRAITER :
RETURN = help
fichier de démonstration : taper EXEMPLE
sortie du programme : taper STOP

Figure 5.1 - Saisie du nom du fichier à traiter

V.2 - DEROULEMENT DU PROGRAMME

V.2.1 - Appel du logiciel (procédure VAX)

- Entrer dans le menu de la programmathèque du département EAU (en tapant : MENU **RETURN**)
- à la question **COMMANDE ?**
  répondre : ISAPE **RETURN**
  L'exécution de ISAPE est lancée.

V.2.2 - **Page 00** : Saisie du nom du fichier à traiter (fig. 5.1)

Grâce au préprocesseur SAIPE, un fichier de données a été créé. Son nom est de la forme NOM.ISA (ISA étant le suffixe caractéristique des fichiers destinés à être traités par ISAPE). Ce fichier doit être localisé dans la directory de travail de l'opérateur. Il est lu par le logiciel avant que ne débute la procédure d'interprétation.

Taper le nom du fichier sans suffixe.
RETURN pour valider la réponse.

si vous tapez :	le logiciel traitera le fichier :
NOM	
ou	
NOM.DAT	
ou	NOM.ISA
NOM.BID	
ou	
NOM.ISA	

Si le fichier mentionné est absent de la directory, un message d'erreur apparaît.

Les causes possibles de l'erreur sont les suivantes :
- le fichier de données n'a pas été créé
- le nom du fichier n'a pas été correctement orthographié
- le fichier ne se situe pas dans la directory de travail.

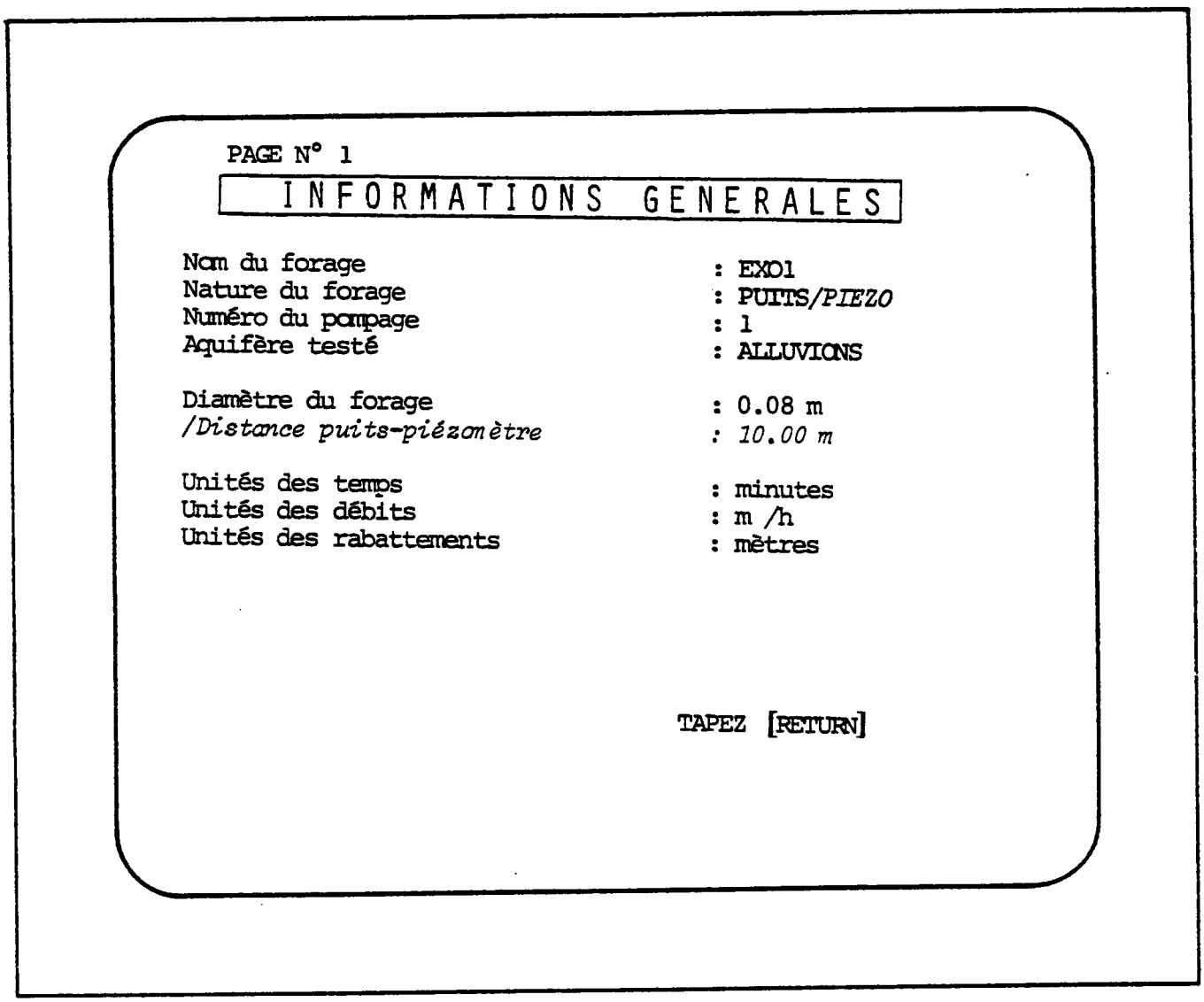

PAGE N° 1
INFORMATIONS GENERALES
Nom du forage : EX01
Nature du forage : PUITS/PIEZO
Numéro du pompage : 1
Aquifère testé : ALLUVIONS
Diamètre du forage : 0.08 m
/Distance puits-piézomètre : 10.00 m
Unités des temps : minutes
Unités des débits : m /h
Unités des rabattements : mètres
TAPEZ [RETURN]

Figure 5.2 - Informations générales sur le pompage traité

Si le fichier a été reconnu dans la directory, son nom est confirmé à l'écran.

RETURN permet de passer à la page suivante.

Nota 1 :

Un fichier de démonstration, accessible en tapant EXEMPLE à la question **NOM DU FICHIER,** permet de se familiariser à l'utilisation d'ISAPE. Le programme fournira les paramètres nécessaires à l'interprétation.

Nota 1 :

A la question **NOM DU FICHIER,**
- STOP **RETURN** permet d'interrompre le déroulement du programme
- **RETURN** permet d'appeler le Help.

V.2.3 - Page 01 : Informations sur le pompage traité (fig. 5.2)

Cette page rappelle les informations générales lues dans l'entête du fichier de données. Elle ne se prête à aucune modification.

RETURN permet de passer à la page suivante.

Nota :

En fonction de la nature de l'ouvrage (PUITS ou PIEZO), le programme affiche respectivement le diamètre du forage ou la distance puits-piézomètre.

V.2.4 - Page 02 : Saisie des paramètres de lecture du fichier de données (fig. 5.3)

Cette page contient les paramètres nécessaires à la lecture des données dans le fichier. Chacune de ces rubriques peut être modifiée selon la procédure normalisée de correction.

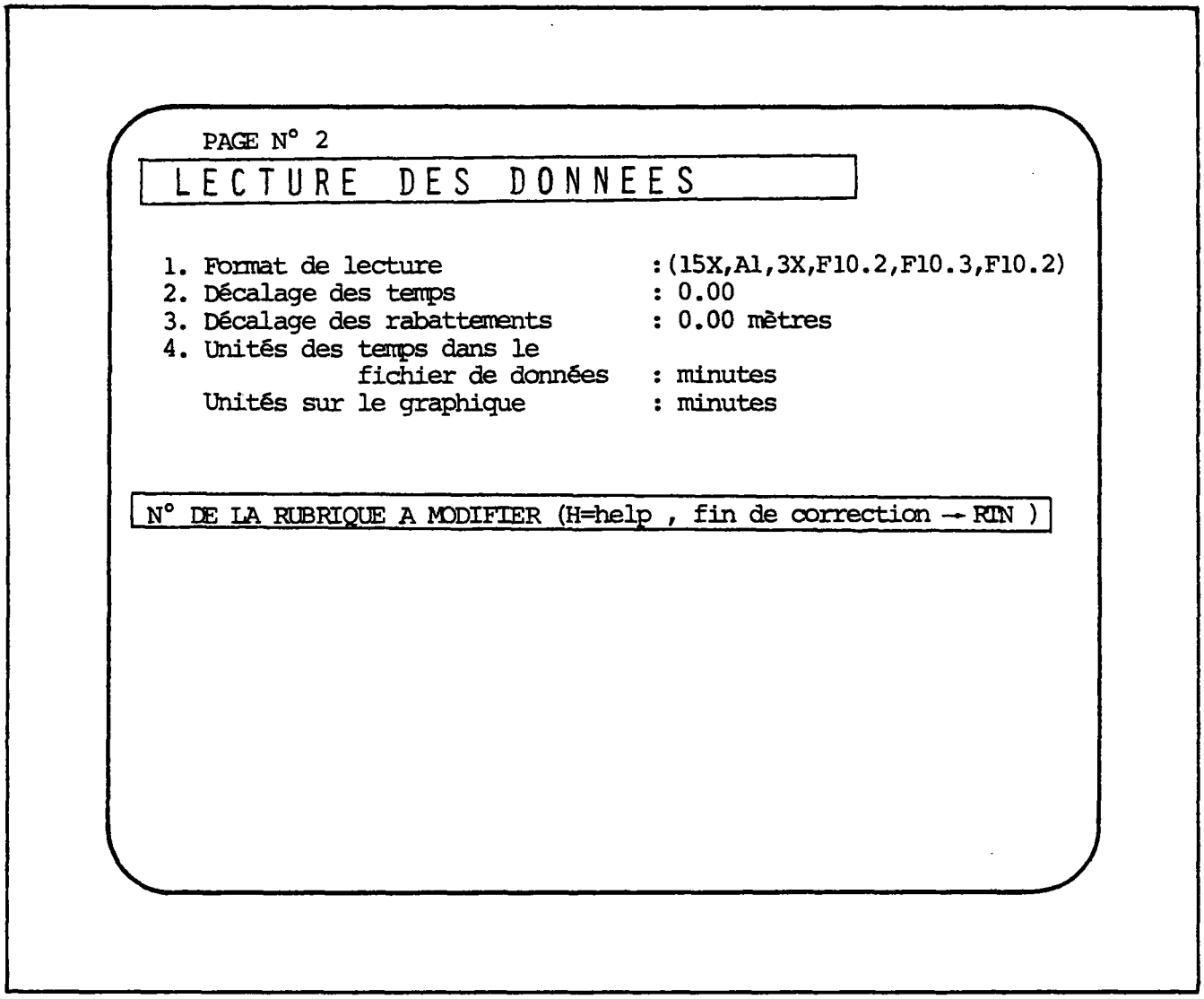

PAGE N° 2
LECTURE DES DONNEES
1. Format de lecture : (15X,A1,3X,F10.2,F10.3,F10.2)
2. Décalage des temps : 0.00
3. Décalage des rabattements : 0.00 mètres
4. Unités des temps dans le fichier de données : minutes
Unités sur le graphique : minutes
N° DE LA RUBRIQUE A MODIFIER (H=help , fin de correction → RTN)

Figure 5.3 - Saisie des paramètres de lecture du fichier de données

1 - Format de lecture

Le format : **(15X, A1, 3X, F10.2, F10.3, F10.2)** proposé par le logiciel correspond au format des fichiers créés par le logiciel SAIPE. Si le fichier de données à traiter a été conçu grâce à ce préprocesseur, la rubrique 1 n'est pas à modifier.

Il est possible de traiter à l'aide d'ISAPE des fichiers ayant une autre structure.

Dans ce cas, modifier la rubrique 1 en donnant le nouveau format entre parenthèses écrit selon les normes FORTRAN. Il faut conserver dans tous les cas l'entête normalisé des fichiers créés par le préprocesseur SAIPE.

2 - Décalage des temps

Le décalage des temps permet de définir une origine des temps postérieure au début du pompage en prenant en compte pour les calculs les données de pompage à partir de cette nouvelle origine.

Exemple d'application : étude d'un palier d'une succession de pompages enchaînés.

Il est exprimé dans les unités de temps, définies par l'utilisateur, et doit positionner le début du pompage étudié au cours d'une phase de descente.

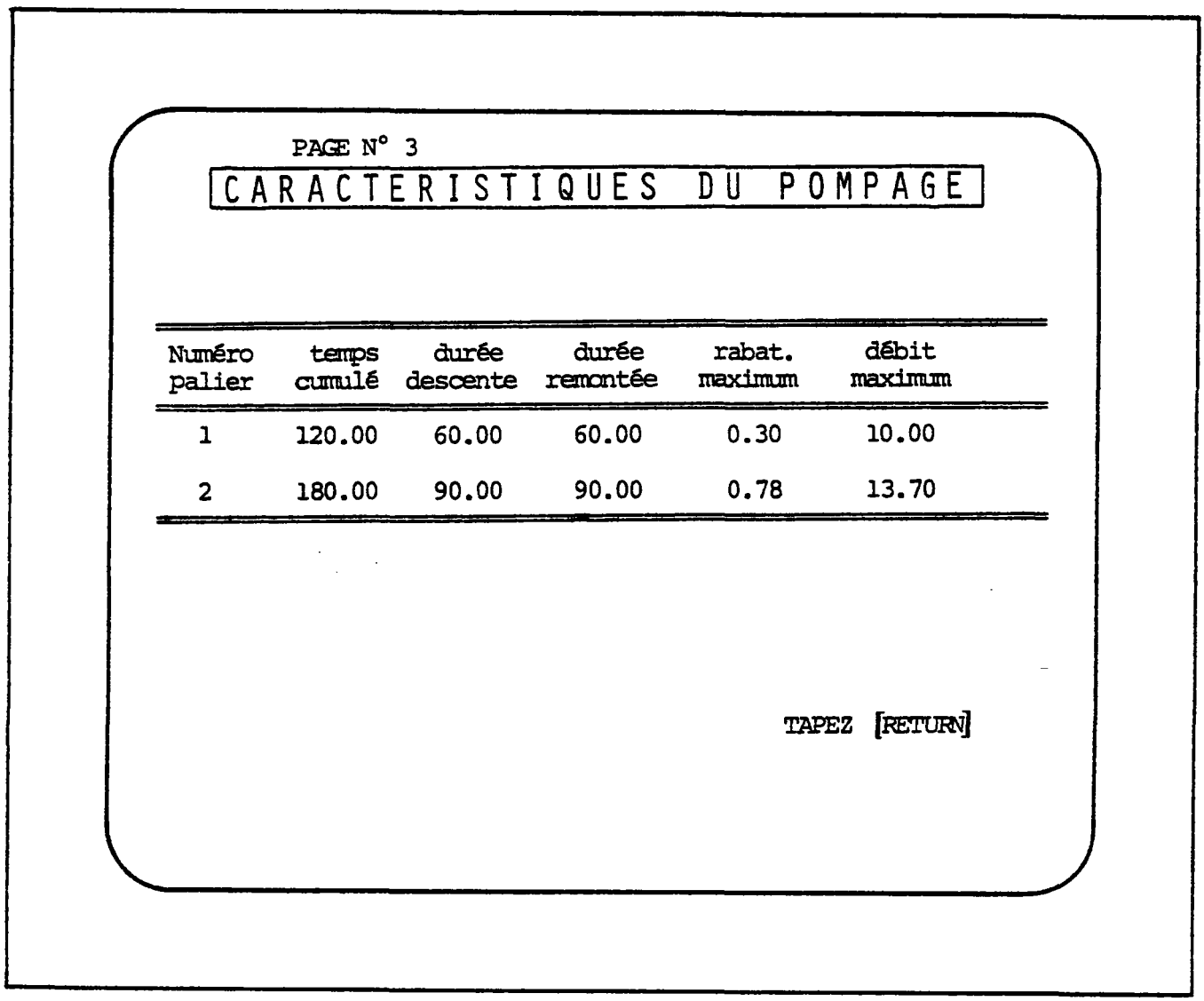
3 - Décalage des rabattements

Le décalage des rabattements permet de définir une origine de rabattement différent.

4 - Unité des temps

La rubrique 4 rappelle l'unité des temps dans le fichier de données. Cette unité peut être modifiée pour le tracé des courbes expérimentales et théoriques. Les unités possibles sont les minutes, les heures et les jours.

Une fois ces paramètres définis, le programme lit immédiatement les mesures (temps, débit, rabattement) dans le fichier. XXX.ISA et enchaîne directement avec la page 03.



PAGE N° 3

CARACTERISTIQUES DU POMPAGE

Numéro palier	temps cumulé	durée descente	durée remontée	rabat. maximum	débit maximum
1	120.00	60.00	60.00	0.30	10.00
2	180.00	90.00	90.00	0.78	13.70

TAPEZ [RETURN]

Figure 5.4 - Informations sur les caractéristiques des paliers de débit

V.2.5 - Page 03 : Informations sur les caractéristiques des paliers de débit (fig. 5.4)

Cette page rappelle quelques informations générales sur le déroulement du pompage d'essai traité :

- le nombre de paliers de débit
- le temps cumulé depuis le début de l'essai à la fin du palier considéré
- la durée de la descente et de la remontée pour chaque palier
- le rabattement maximal et le débit maximal pour chaque palier.

Cette page ne se prête à aucune modification.

RETURN permet de passer à la page suivante.

V.2.6 - Page 04 : Choix de la méthode d'interprétation (fig. 5.5)

4 méthodes sont actuellement offertes :

- Méthode de **Theis** (aquifère homogène isotrope d'extension latérale infinie).
- Méthode de **Theis** prenant en compte l'influence d'une limite ou de deux limites parallèles, que celles-ci soient à potentiel imposé (alimenté) ou à flux nul (étanche).
- Méthode de **Gringarten** (aquifère homogène anisotrope d'extension latérale infinie recoupé totalement par une fracture verticale unique, le puits étant implanté au centre de la fracture).
- Méthode de **Gringarten** prenant en compte l'influence d'une limite ou de deux limites parallèles, que celles-ci soient à potentiel imposé (alimenté) ou à flux nul (étanche).
- Choisir le code correspondant à la méthode désirée
- **RETURN** valide la réponse et permet de passer à la page suivante.

V.2.7 - Page 05 : Choix de la géométrie du modèle d'interprétation

Le libellé de cette page dépend de la méthode choisie à la page précédente.

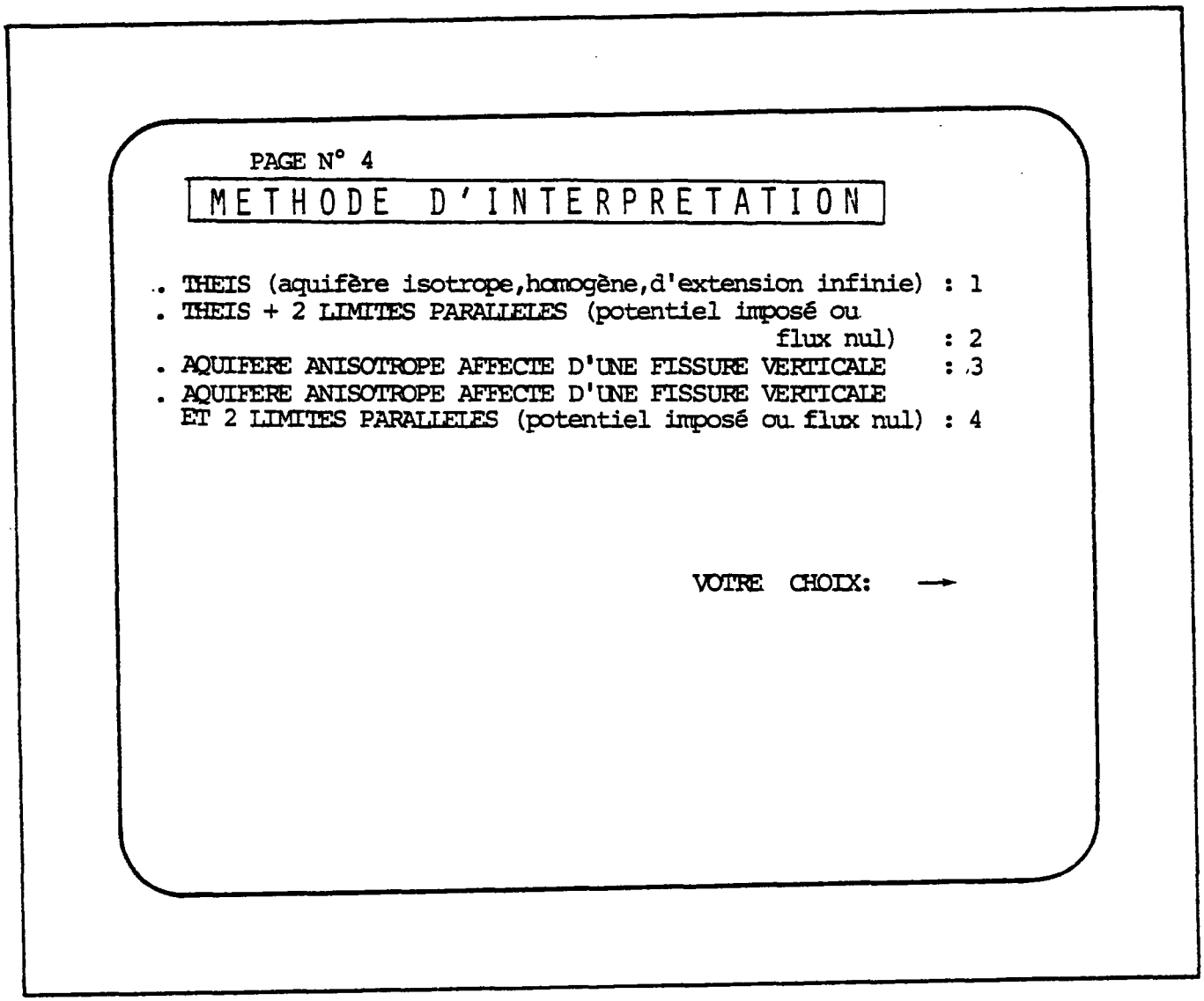

PAGE N° 4
METHODE D'INTERPRETATION
. THEIS (aquifère isotrope,homogène,d'extension infinie) : 1
. THEIS + 2 LIMITES PARALLELES (potentiel imposé ou flux nul) : 2
. AQUIFERE ANISOTROPE AFFECTE D'UNE FISSURE VERTICALE : 3
. AQUIFERE ANISOTROPE AFFECTE D'UNE FISSURE VERTICALE ET 2 LIMITES PARALLELES (potentiel imposé ou flux nul) : 4
VOTRE CHOIX: →

Figure 5.5 - Choix de la méthode d'interprétation

1 - Méthode de Theis (fig. 5.6)

Le milieu était supposé homogène, isotrope et d'extension latérale infinie, la seule donnée géométrique à prendre en compte concerne le rayon d'observation, c'est-à-dire la distance séparant le centre du puits de pompage du point d'observation.

- Si le forage est un piézomètre, le rayon d'observation est obligatoirement égal à la distance puits-piézomètre, distance qu'il importe de connaître avec précision.

- Si le forage est un puits de pompage, le rayon d'observation est égal au rayon du trou nu face à la zone captée, ou au rayon efficace estimé.

Ce rayon efficace est le rayon de puits idéal (réalisé sans remaniement du terrain, ni colmatage par la boue de forage et parfait : pertes de charges négligeables dans le massif et à la paroi du puits) qui fournirait le **même débit spécifique** que le puits réel, pour la **même durée** et le **même rabattement** si le terrain était homogène.

En pratique, il est voisin de la distance horizontale entre l'axe d'un puits et l'enveloppe extérieure du massif filtrant ou de la zone où le milieu aquifère a été développé. Il peut être inférieur au rayon réel du puits dans le cas d'un colmatage.

La valeur du rayon d'observation doit être exprimée **en mètres.**

2 - Méthode de Theis + limite(s) (fig. 5.7)

. Coordonnées du puits de pompage et du point d'observation

La position des différents forages est définie dans un **repère orthonormé** dont l'axe des x est parallèle aux limite(s) (fig. 5.8).

Le centre du puits de pompage est considéré comme l'origine du repère (x = 0, y = 0). Les valeurs proposées par le programme pour les coordonnées du point d'observation sont telles que la droite le reliant à l'origine est parallèle à l'abcisse.

Ceci reste vrai dans tous les cas où l'on interprète le pompage au puits de production (x = rayon du puits de pompage).

Dans le cas d'un piézomètre, cette hypothèse suppose que la droite puits-piézomètre est parallèle à la (aux) limite(s).

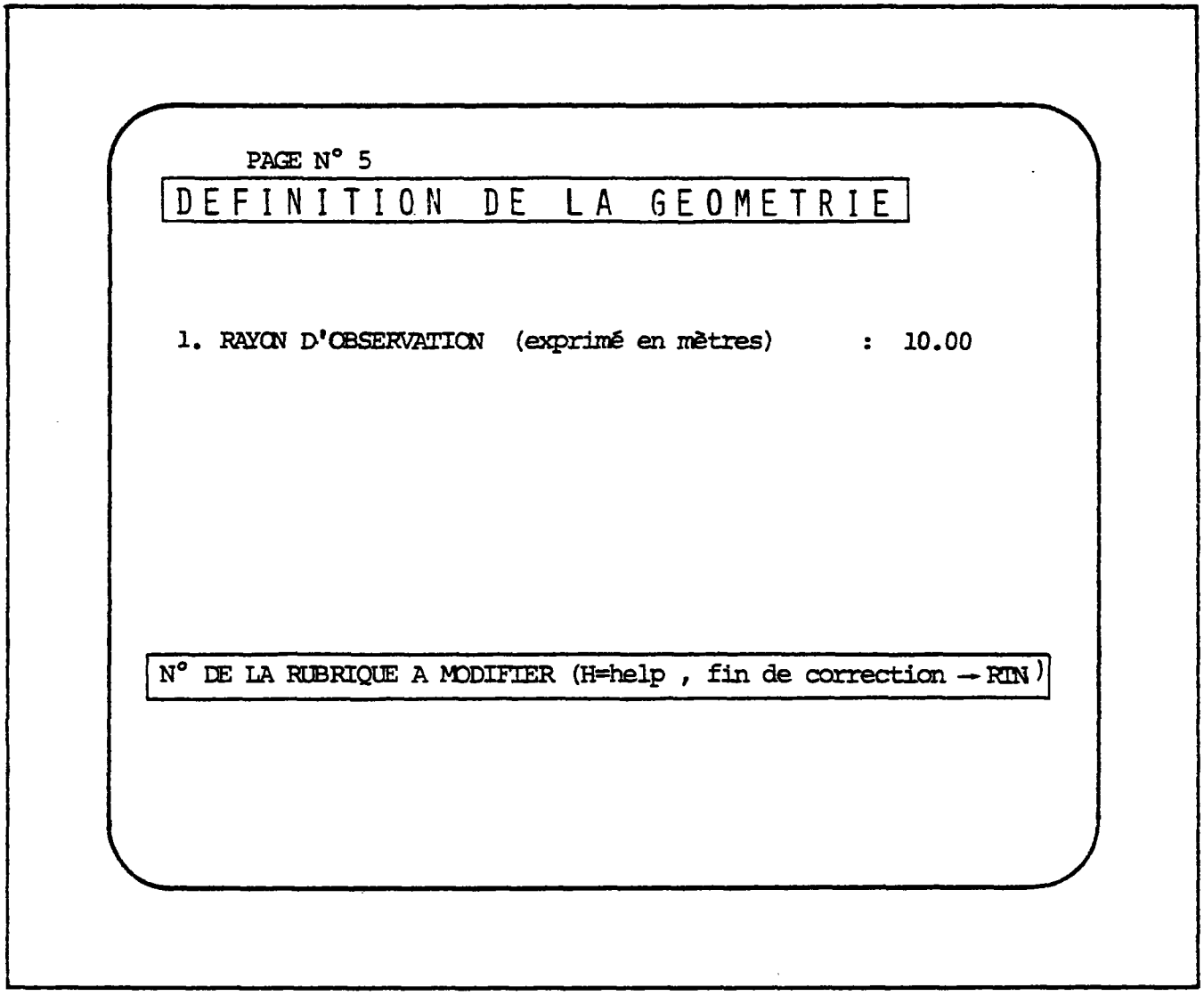

PAGE N° 5
DEFINITION DE LA GEOMETRIE
1. RAYON D'OBSERVATION (exprimé en mètres) : 10.00
N° DE LA RUBRIQUE A MODIFIER (H=help , fin de correction → RTN)

Figure 5.6 - Définition de la géométrie (méthode de Theis)

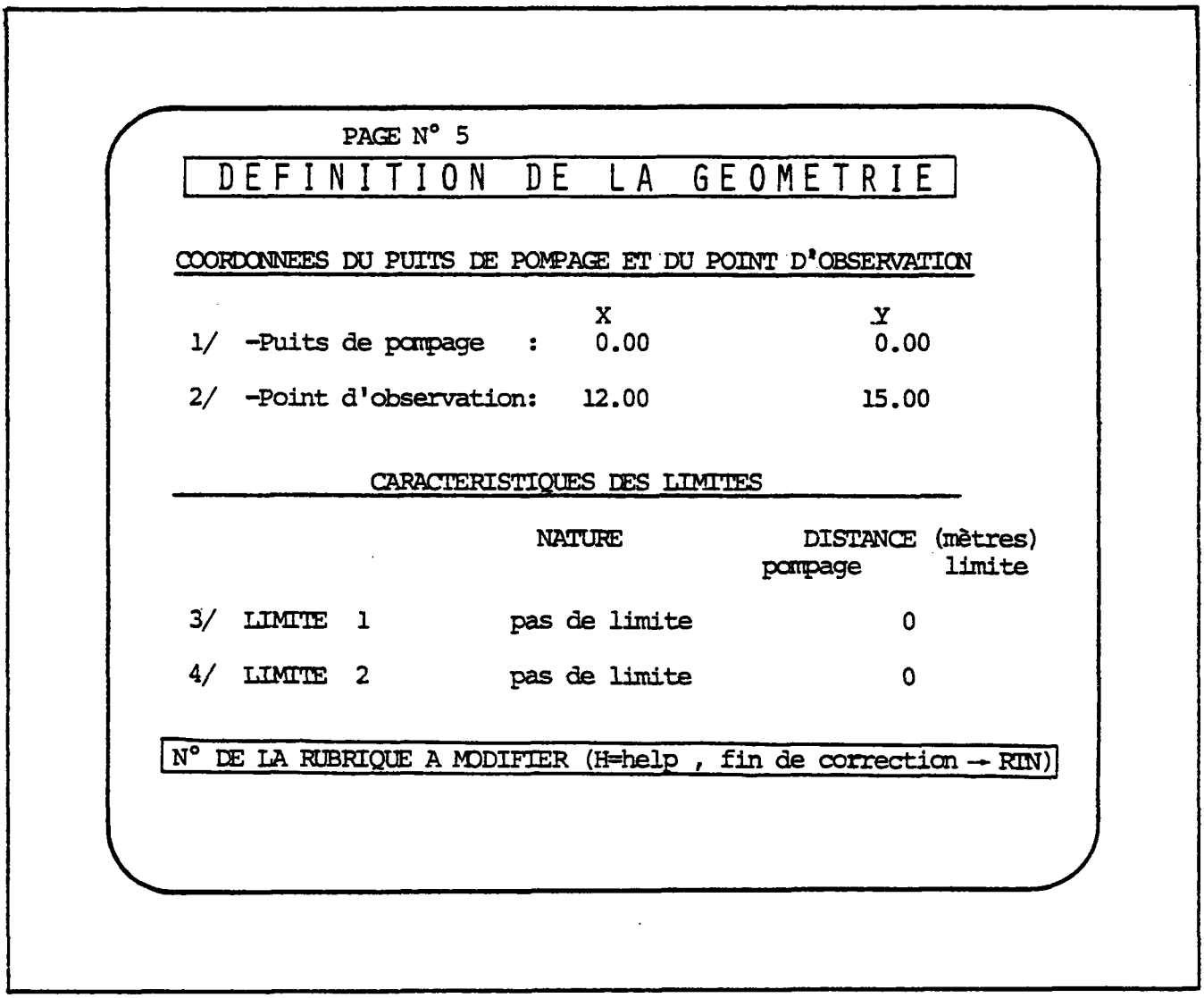

PAGE N° 5
DEFINITION DE LA GEOMETRIE
COORDONNEES DU PUITS DE POMPAGE ET DU POINT D'OBSERVATION
X
Y
1/ -Puits de pompage : 0.00 0.00
2/ -Point d'observation: 12.00 15.00
CARACTERISTIQUES DES LIMITES
NATURE
DISTANCE (mètres)
pompage
limite
3/ LIMITE 1 pas de limite 0
4/ LIMITE 2 pas de limite 0
N° DE LA RUBRIQUE A MODIFIER (H=help , fin de correction → RTN)

Figure 5.7 - Définition de la géométrie (méthode de Theis + limites)

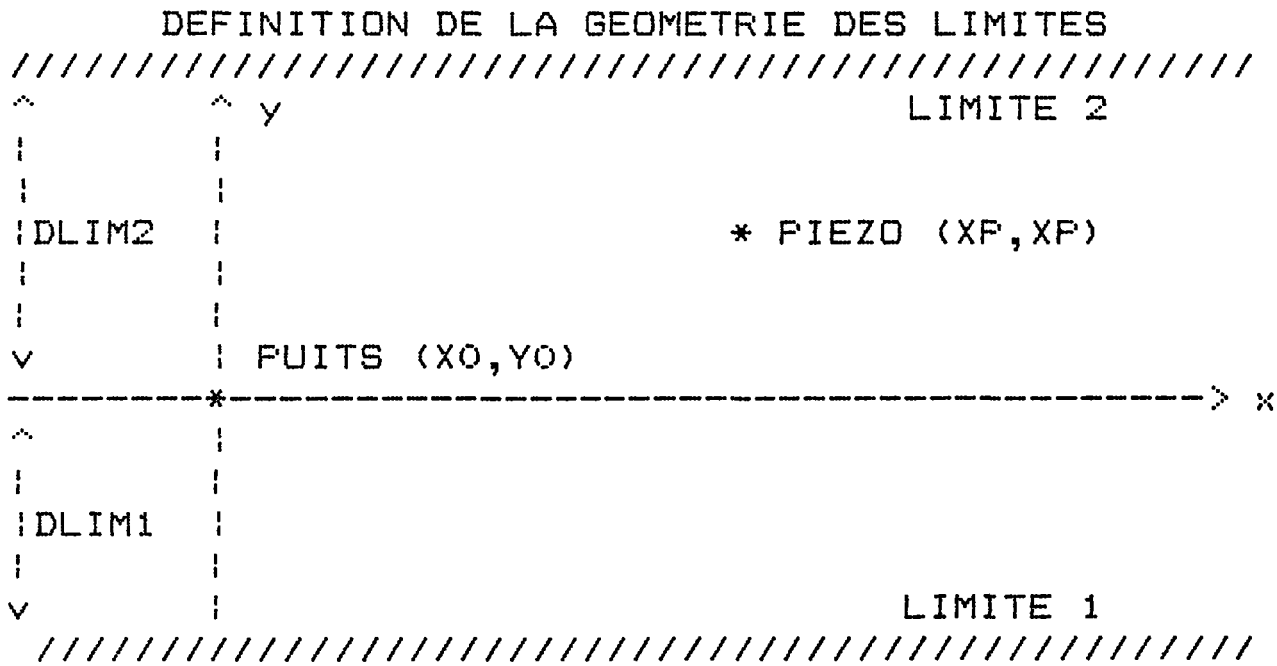


Figure 5.8 - Modèle à deux limites parallèles - Vue en plan horizontal

D1 : distance de la limite 1 au puits de pompage

D2 : distance de la limite 2 au puits de pompage

. **Caractéristiques des limites**

Chaque limite est définie par :
- sa nature (absente, alimentée, étanche)
- sa distance (en mètres) par rapport au puits de pompage.

Initialement, le logiciel suppose que les deux limites sont absentes.

Pour prendre en compte l'effet d'une ou deux limites, appeler la rubrique concernée puis définir la nature de la limite à l'aide de l'un des codes entiers proposés (- 1 = alimentée ; O = absente ; 1 = étanche).

RETURN valide cette première réponse et permet de choisir la distance au puits de pompage (en mètres).

Tout autre code que ceux proposés pour la nature de la limite n'est pas pris en compte.

3 - Méthode de fracture unique (fig. 5.9 et 5.10)

Deux possibilités d'interprétation sont offertes :
- puits de pompage au centre de la fracture
- piézomètre situé dans l'axe de la fracture.

La nature du forage est lue dans le fichier de données en début d'exécution. Le programme choisit donc automatiquement la méthode d'interprétation lui correspondant.

Dans le cas d'un piézomètre, la distance puits-piézomètre (rayon d'observation) est rappelée.

Deux paramètres sont à définir :
- la demi-longueur de fracture en mètres (dans le plan horizontal)
- le contraste de transmissivité (dans le plan horizontal)

Le logiciel propose respectivement les valeurs 100 et 1. Si la valeur réelle de ces paramètres n'est pas connue il est judicieux de conserver les valeurs proposées pour l'interprétation, puis de les modifier, une fois le calage réalisé, grâce à l'option 8 (cf. paragraphe VI.10.9).

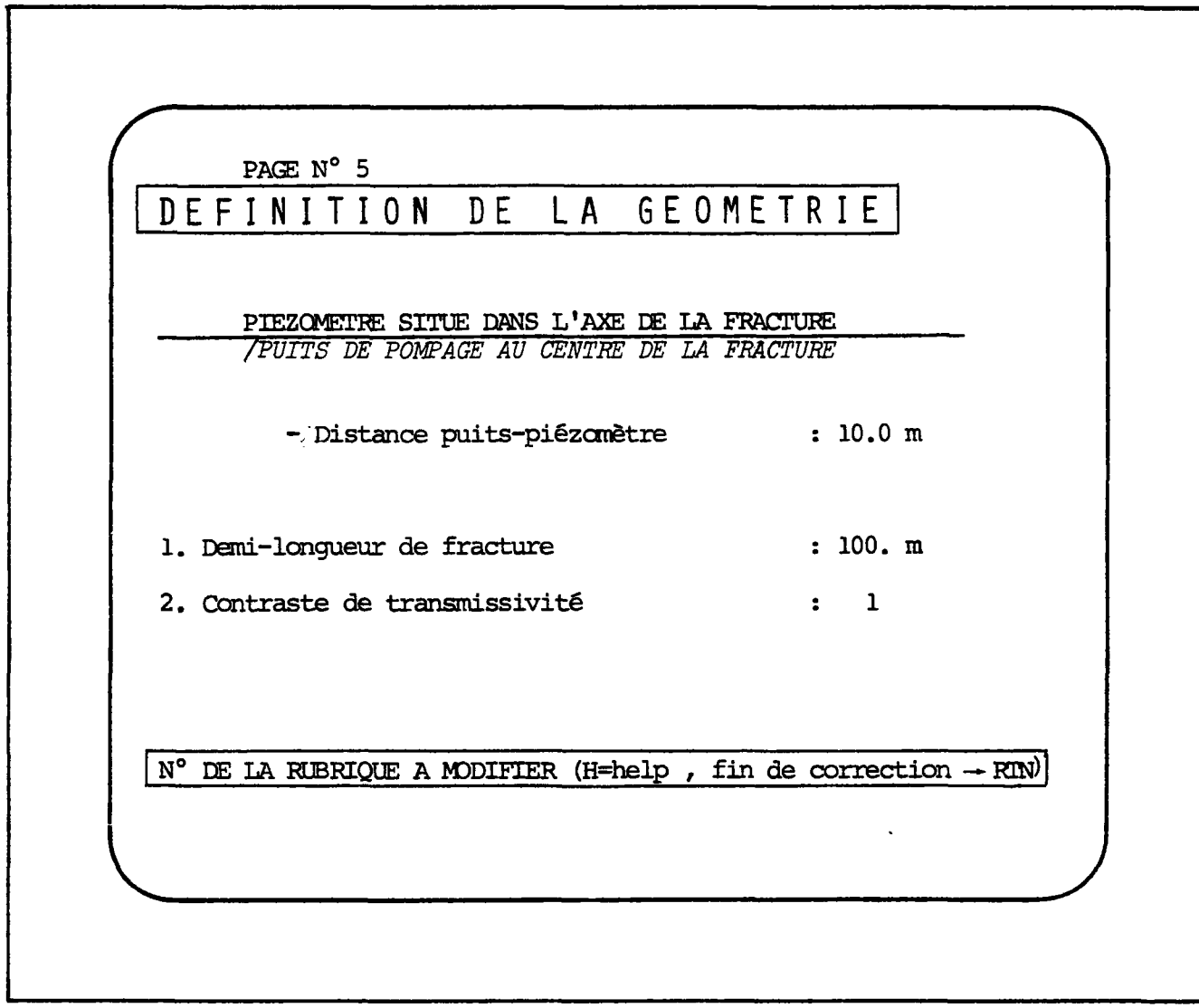

PAGE N° 5
DEFINITION DE LA GEOMETRIE
PIEZOMETRE SITUE DANS L'AXE DE LA FRACTURE
/PUITS DE POMPAGE AU CENTRE DE LA FRACTURE
- Distance puits-piézomètre : 10.0 m
1. Demi-longueur de fracture : 100. m
2. Contraste de transmissivité : 1
N° DE LA RUBRIQUE A MODIFIER (H=help , fin de correction → RTN)

Figure 5.9 - Définition de la géométrie (méthode de fracture unique)

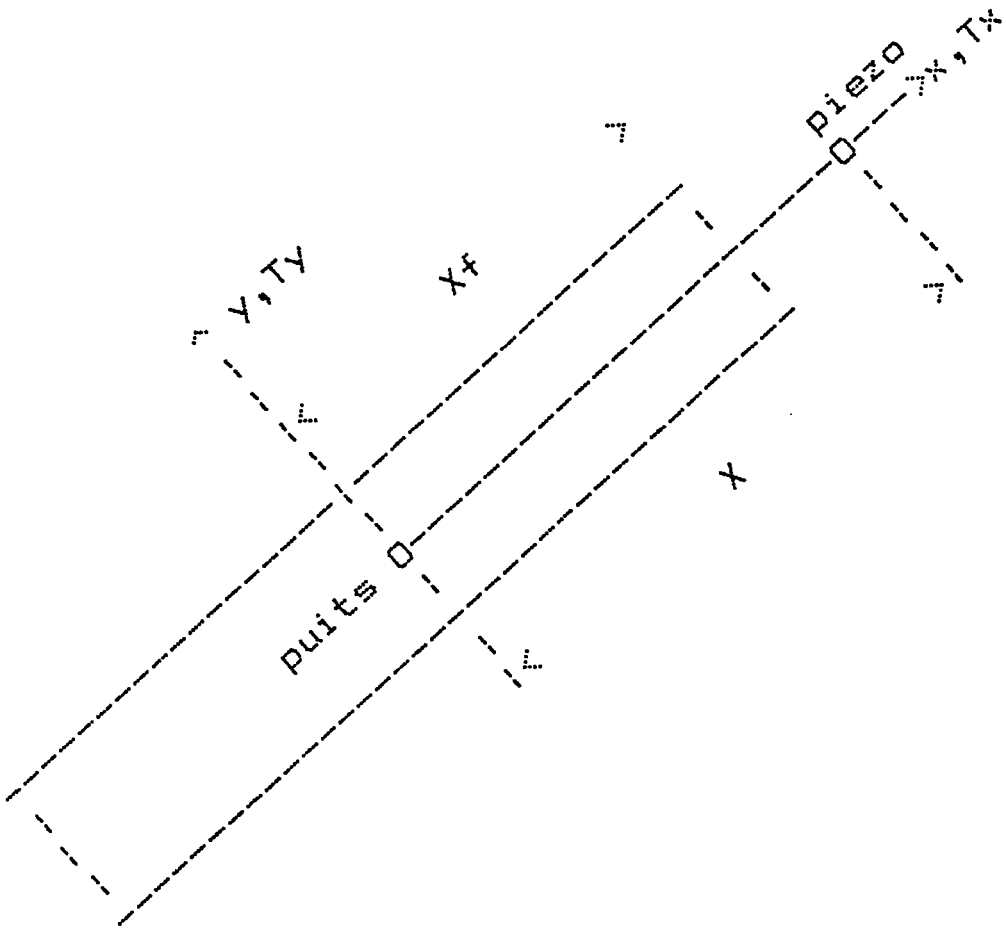


Figure 5.10 - Modèle de fracture unique - Vue en plan horizontal

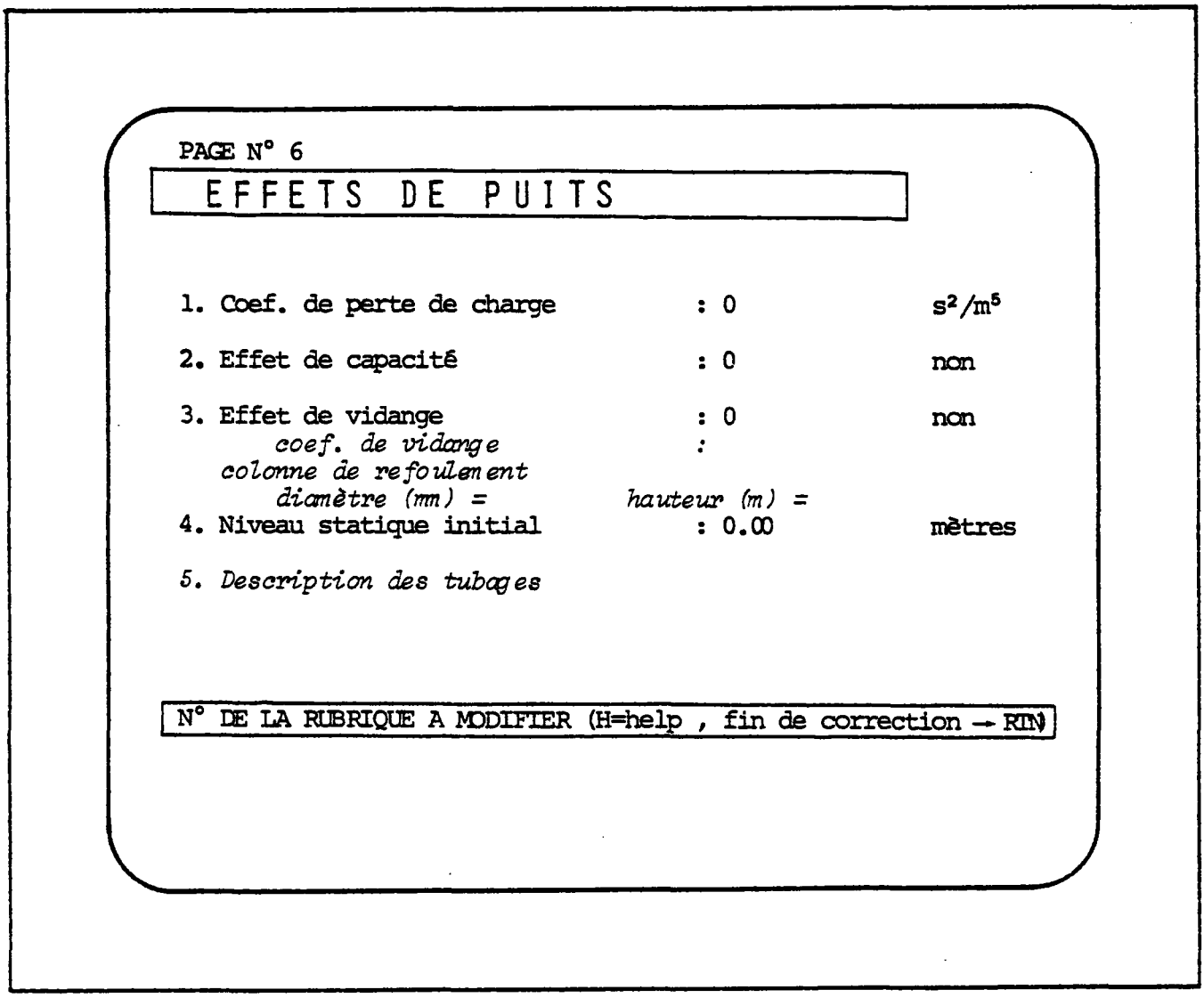

PAGE N° 6
EFFETS DE PUITS
1. Coef. de perte de charge : 0 s²/m⁵
2. Effet de capacité : 0 non
3. Effet de vidange : 0 non
coef. de vidange :
colonne de refoulement
diamètre (mm) = hauteur (m) =
4. Niveau statique initial : 0.00 mètres
5. Description des tubages
N° DE LA RUBRIQUE A MODIFIER (H=help , fin de correction → RTN)

Figure 5.11 - Prise en compte des effets de puits

4 - Méthode de fracture unique faisant intervenir l'effet de limite(s)

La saisie des paramètres est une combinaison des procédures définis aux paragraphes 3 et 2.

Nota :

Un "help" fournit pour chaque méthode, une description détaillée des paramètres géométriques, à saisir, illustrée par des schémas.

V.2.8 - Page 06 : Prise en compte des effets de puits (fig. 5.11)

Cette page n'est affichée que pour le cas d'une **interprétation au puits de pompage.**

Trois effets dûs au puits de pompage sont pris en compte dans le calcul de la courbe théorique :

- effet de perte de charge
- effet de capacité
- effet de vidange (de la colonne de refoulement lors de l'arrêt du pompage).

1 - Pertes de charge quadratiques

Au puits de pompage, le rabattement observé est la somme de la perte de charge dans l'aquifère (due normalement à l'écoulement dans l'aquifère) et des pertes de charges dues aux caractéristiques du puits, notamment à l'écoulement (parfois turbulent) à travers la crépine et à l'effet pariétal. Ces pertes de charge sont quadratiques, fonction du carré du débit :

Perte de charge = $B.Q^2$

B : coefficient de perte de charge quadratique (T^2/L^5)

Q : débit L^3/T

Entrer le coefficient de perte de charge, exprimé en s^2/m^5, à la rubrique 1.

Nota :

Compte tenu des unités adoptées, ce coefficient peut atteindre des valeurs élevées.

Exemple :
Perte de charge = 0,1 m
$Q = 3,6\ m^3/h = 10^{-3}\ m^3/s$
$\rightarrow B = Pdc/Q^2 = 10^5\ s^2/m^5$

2 - Effet de capacité

Une partie de l'eau extraite lors du pompage provient uniquement du puits, sans avoir transité par l'aquifère. Ce volume dépend du rabattement et du diamètre de l'ouvrage. L'effet de capacité est donc négligeable pour les forages de petit diamètre et quand le niveau évolue peu (une fois le rabattement stabilisé). Le volume d'eau prélevé dans l'aquifère est donc légèrement inférieur à celui mesuré en surface à l'exhaure de la pompe.

La prise en compte de l'effet de capacité est effectuée à l'aide d'un code binaire (1 = oui ; 0 = non) à la rubrique 2. Si la réponse est oui, il est nécessaire de décrire l'agencement des tubages dans le forage (cf. rubrique 5).

3 - Effet de vidange

Cet effet est dû à la vidange de la colonne de refoulement se produisant à l'arrêt du pompage lorsque la pompe ne possède pas de clapet anti-retour ou que celui-ci est défectueux.

La prise en compte de l'effet de vidange est signalée en entrant un code chiffre à la rubrique 3 (1 = oui, 0 = non) **RETURN.**

Si la réponse est oui, les rubriques suivantes apparaissent successivement :

- Coefficient de vidange

Ce coefficient traduit le "degré d'ouverture" du clapet c'est-à-dire la vitesse avec laquelle l'eau contenue dans le tube de refoulement va s'écouler dans le forage. Il est compris entre 0 (clapet étanche) et l'infini (pas de clapet). Il peut être comparé à une transmissivité et s'exprime en m^2/s.

- **Caractéristiques de la colonne de refoulement**
  Hauteur (m) **RETURN**
  Diamètre (mm) **RETURN**

De même que pour l'effet de capacité, la description de l'agencement des tubages est nécessaire pour le calcul de cet effet (cf. la rubrique 5).

4 - Niveau statique initial

La valeur prise en compte correspond à celle lue par le programme dans le fichier de données. Celle-ci peut cependant être modifiée pour le calcul des effets de puits.

5 - Description des tubages

Entrer le nombre de tubages (5 au maximum) **RETURN.**

Pour chaque tubage, donner :
- Le diamètre (en mm) **RETURN**
- La cote de base (en m) **RETURN**

Une fois la saisie terminée, l'ensemble des caractéristiques des tubages est rappelé.

V.2.9 - Page 07 : Description de la fenêtre du tracé (fig. 5.12)

Cette page permet de définir les caractéristiques du graphique d'interprétation à l'écran.

1 - Choix de l'échelle des axes

Chaque axe peut être représenté selon une échelle arithmétique ou logarithmique. Les deux axes sont initialisés en arithmétique.

Pour modifier un type d'axe, entrer le code chiffre correspondant (0 = arithmétique, 1 = logarithmique).

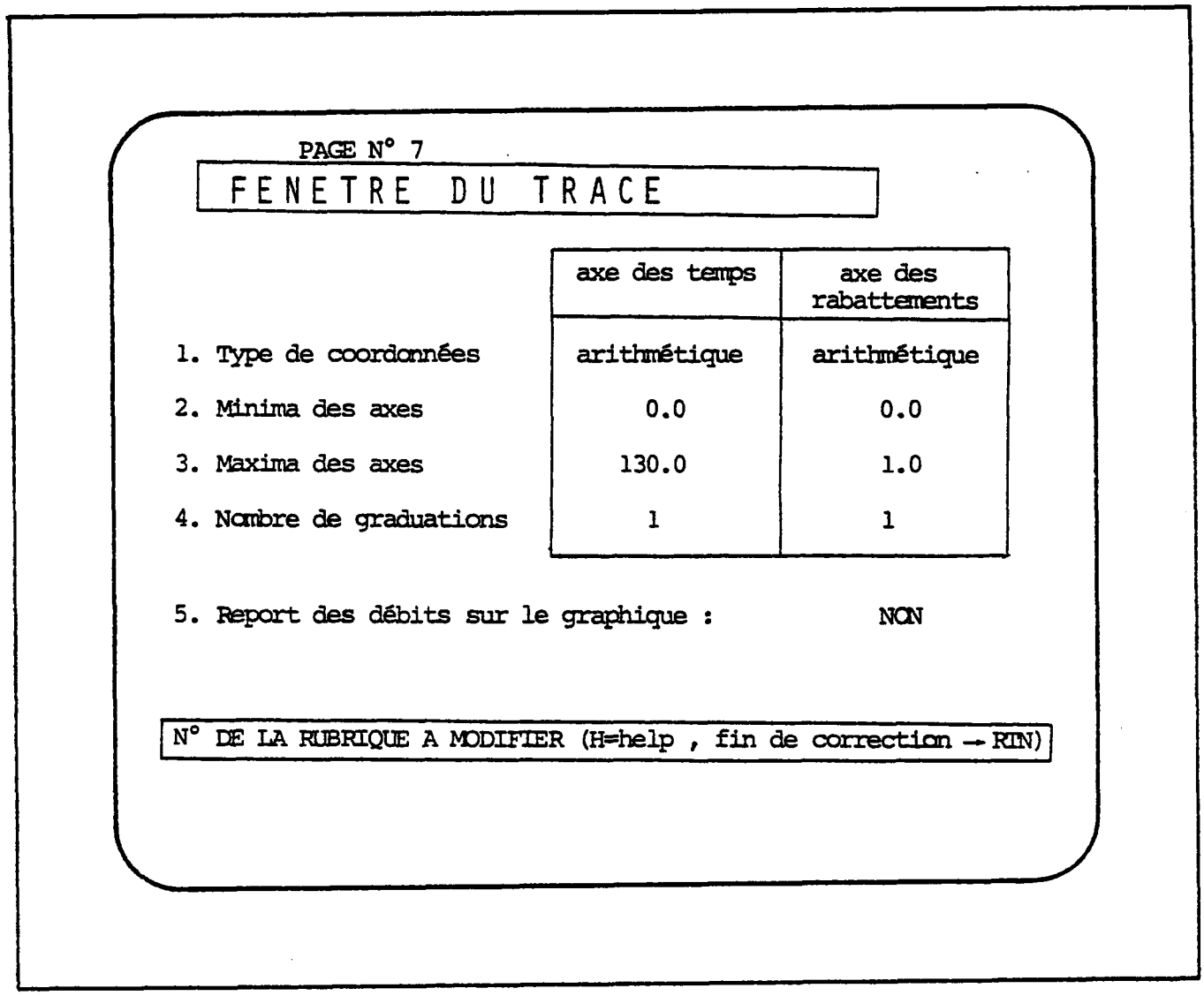


Figure 5.12 - Description de la fenêtre du tracé

2 - Minima et maxima des axes

Les valeurs proposées sont calculées à partir des données lues dans le fichier.

En coordonnées logarithmiques, les bornes proposées sont automatiquement des puissances de 10.

En cas de changement de type pour l'un ou l'autre des axes, les minimuns et maximuns sont recalculés automatiquement.

3 - Nombre de graduations

Le nombre de graduations est initialisé à 1 en arithmétique de façon à minimiser le temps nécessaire au tracé du cadre. Il est judicieux de ne choisir le nombre de graduations permettant l'habillage des axes qu'au moment de la sortie du graphique sur table traçante une fois le calage réalisé.

En coordonnées logarithmiques, les axes sont gradués automatiquement par le programme, quel que soit le nombre de graduations proposées.

4 - Report des débits sur le graphique

La courbe des débits mesurés peut être superposée à la courbe des rabattements mesurés pour mieux comprendre leur évolution.

Répondre par le code chiffre correspondant (1 = oui, 0 = non) **RETURN.**

Après la validation de la page par **RETURN** le programme passe au tracé du graphique des données expérimentales.

V.2.10 - Début de la phase d'interprétation : accès au menu principal

En fin de tracé de la courbe expérimentale, le programme reste en attente d'une réponse à un menu implicite qui propose toutes les commandes nécessaires à l'interprétation.

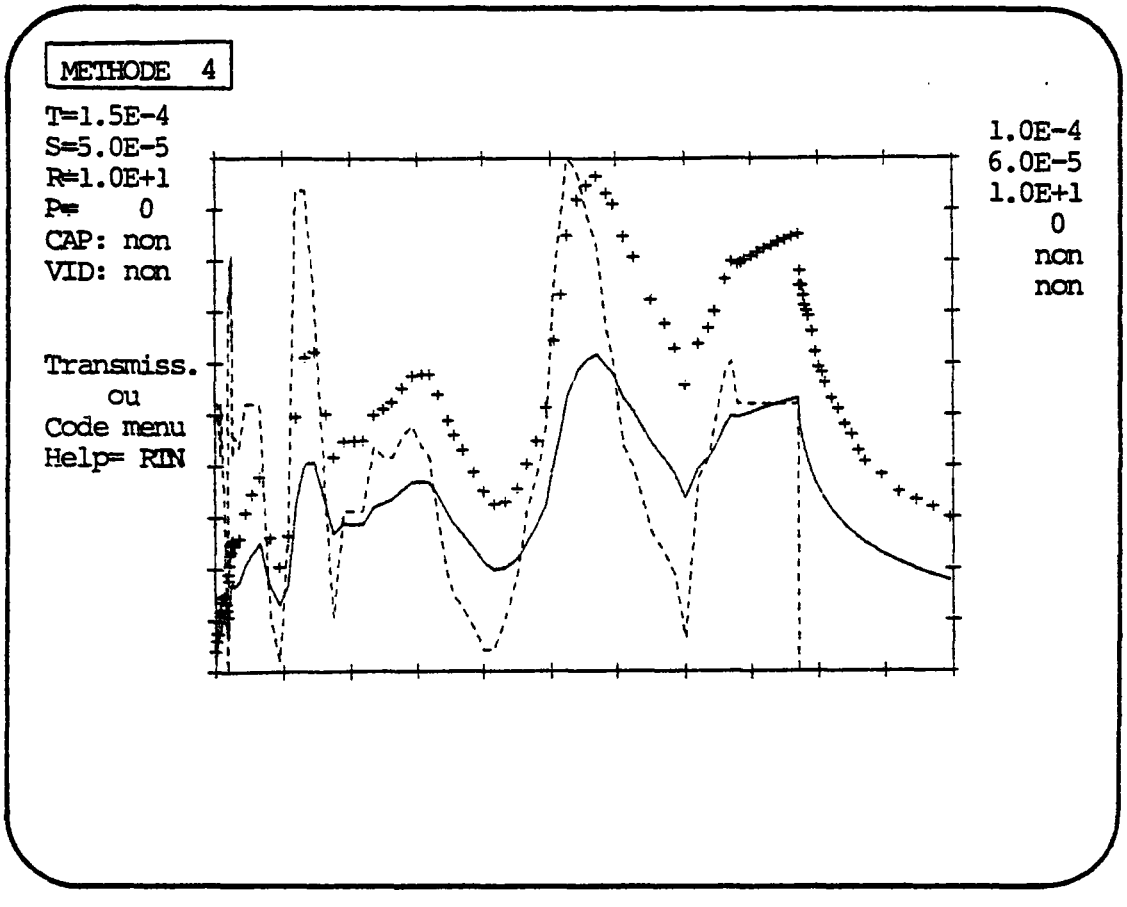


Figure 5.13 - Tracé d'une courbe théorique avec les paramètres T = 1,5.10^{-4} m^2/s, S = 5.10^{-5} (méthode 4 = méthode de fracture unique + limites)

courbe théorique (rabattements calculés)

+++ courbe expérimentale (rabattements mesurés)

courbe des débits mesurés

Taper H **RETURN** pour avoir accès au contenu du menu :

Réponse possibles

0 < < 1 : valeur de transmissivité
1 : consultation d'une page
2 : modification d'une page
3 : tracé du cadre et des données expérimentales
4 : idem + courbe calculée du dernier essai
5 : graphique "rabattement calculé moins rabattement réel"
6 : envoi du dessin sur traceur
7 : autre fichier de données
8 : rappel des paramètres de l'ajustement
9 : fin

Réponse au menu : code chiffre désiré **RETURN.** Les codes ne correspondant pas aux possibilités offertes ne sont pas pris en compte.

Examinons les différentes possibilités :

V.2.10.1 - 0 < réponse < 1 RETURN

Une réponse comprise entre 0 et 1 est interprétée par le logiciel comme étant une valeur de transmissivité T. Une valeur du coefficient d'emmagasinement S est alors demandée.

Entrer la valeur choisie **RETURN**

La courbe théorique calculée à partir de la méthode d'interprétation, de la géométrie et éventuellement des effets de puits est tracée à l'écran. Les données du calage sont affichées à gauche du graphique tandis que les données du calage précédent sont rappelées à droite et le logiciel se trouve en attente au menu principal (fig. 5.13).

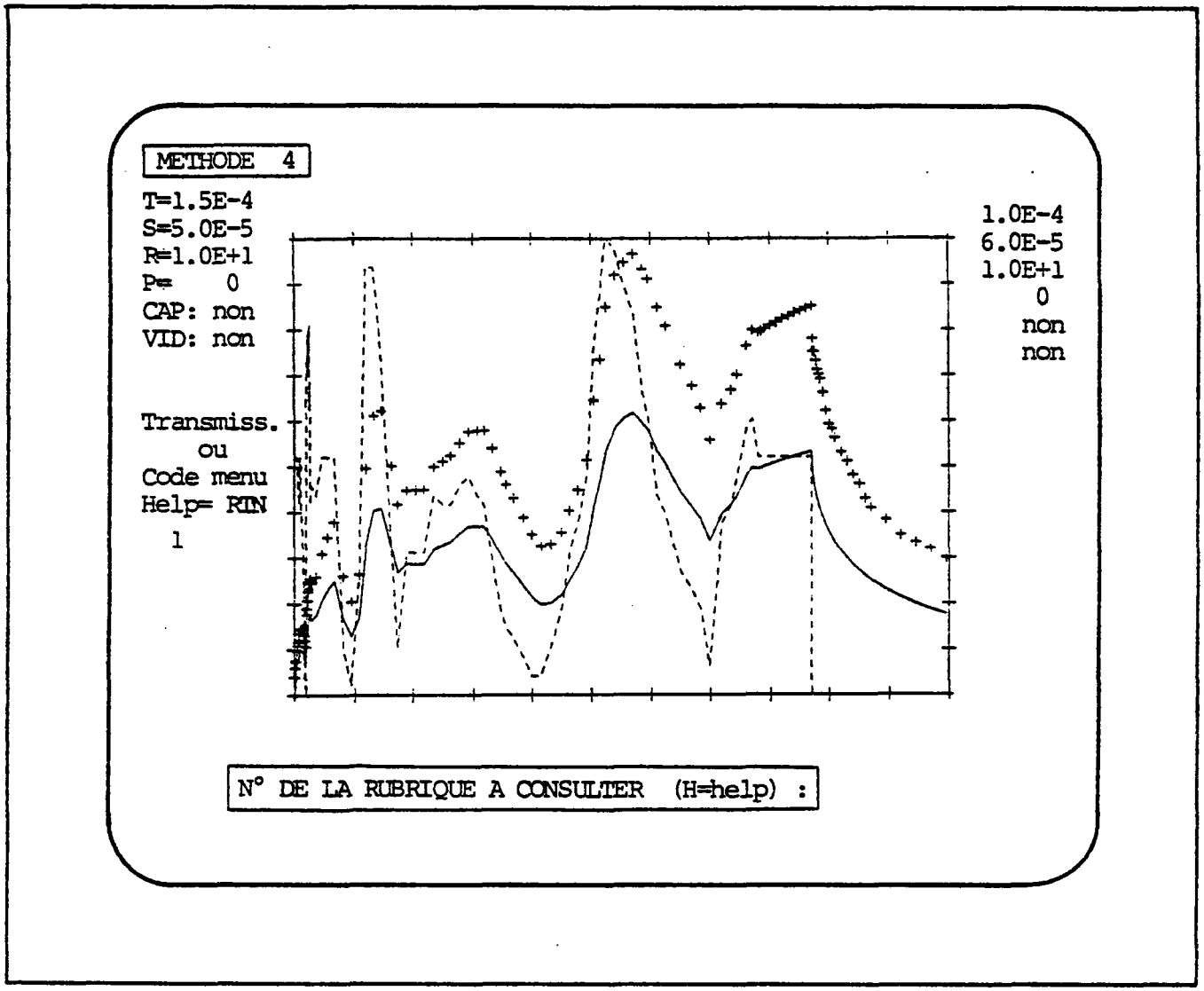


Figure 5.14 - Consultation d'une page au cours de l'interprétation

V.2.10.2 - Réponse : 1 RETURN

Une ligne menu, demandant le numéro de la page à consulter, apparaît en bas de l'écran (fig. 5.14).

- Répondre par le numéro désiré **RETURN**
- H **RETURN** permet de rappeler les titres des différentes pages précédemment saisies et précise celles qui sont consultables.
- Une fois la page consultée, **RETURN** permet de revenir au menu principal.

V.2.10.3 - Réponse : 2 RETURN

Une ligne menu, demandant le numéro de la page à modifier, apparaît en bas de l'écran (fig. 5.15).

- Répondre par le numéro désiré **RETURN**
- H **RETURN** permet de rappeler les titres des différentes pages précédemment saisies et précise celles qui sont modifiables.

Suivant la page à laquelle des modifications auront été apportées, d'autres pages devront être obligatoirement validées avant qu'une nouvelle courbe calculée ne soit tracée :

Page modifiée	Page à valider
2	3, 4, 5, 6, 7
4	5
5	
6	aucune
7	

Une fois la nouvelle courbe calculée tracée, le programme se situe en attente, au menu principal.

V.2.10.4 - Réponse : 3 RETURN

Cette option permet d'effacer le graphique puis de retracer le cadre et les données expérimentales seules.

Les paramètres des deux calages précédents sont rappelés de part et d'autre du graphique, et le programme revient en position d'attente au menu principal.

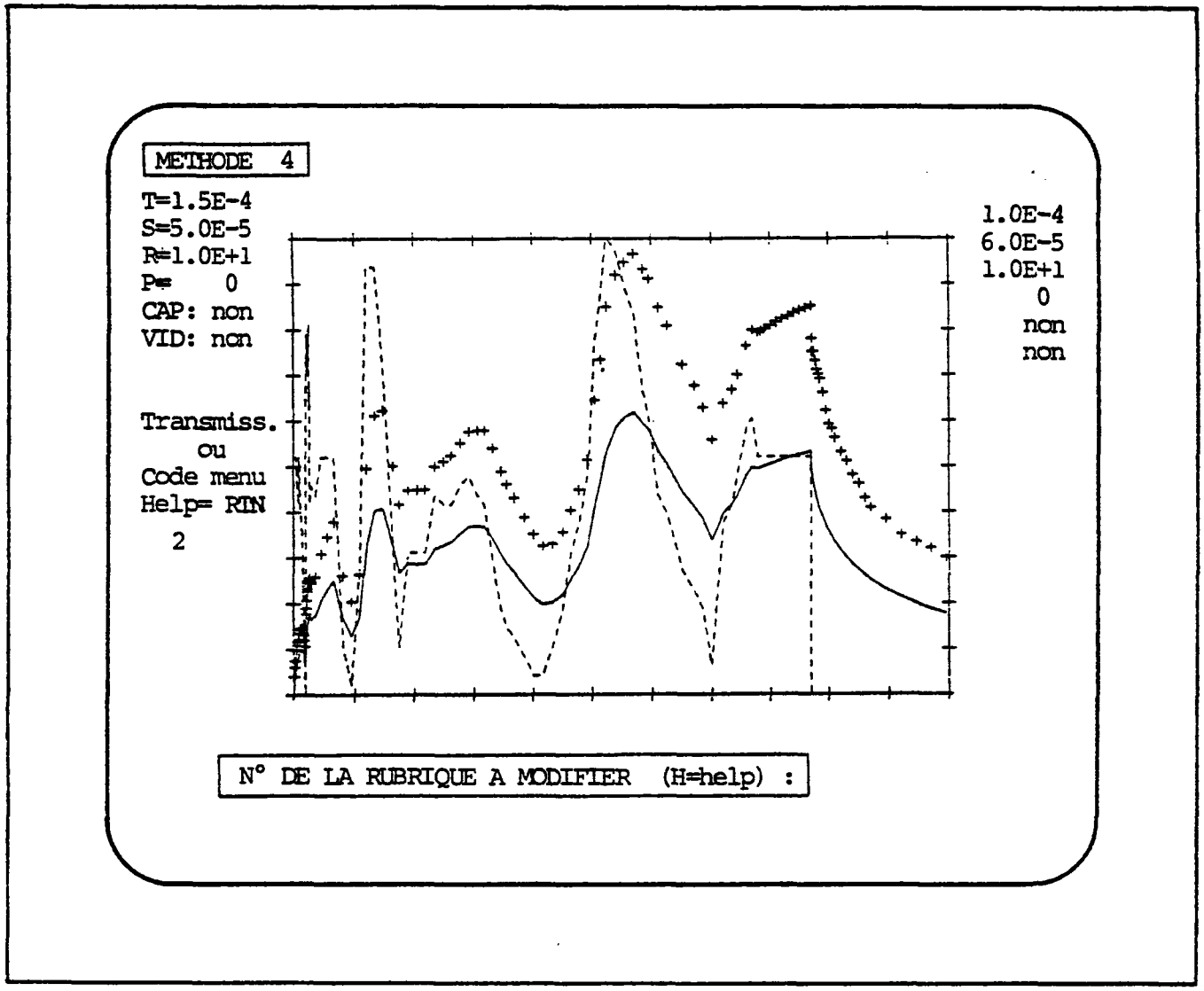


Figure 5.15 - Modification d'une page en cours d'interprétation

V.2.10.5 - Réponse : 4 RETURN

Effacement du graphique puis tracé du cadre, des données expérimentales et de la dernière courbe calculée.

Les paramètres des deux calages précédents sont rappelés de part et d'autre du graphique, et le programme revient en position d'attente au menu principal.

V.2.10.6 - Réponse : 5 RETURN

Cette option permet d'afficher à l'écran le graphique : différence des rabattements calculés et des rabattements mesurés en fonction du temps.

Ce graphique permet de mieux visualiser la qualité globale du calage. Un calage parfaitement ajusté est caractérisé par une droite horizontale (s calculé - s mesuré = 0 quel que soit t).

Pour revenir au graphique de calage : **RETURN**

V.2.10.7 - Réponse : 6 RETURN

Cette option permet l'envoi du dessin, obtenu à l'écran sur traceur, et correpond à l'affichage de la page 08.

En bas de page, le logiciel attend le titre à attribuer au graphique (fig. 5.16) :

- Entrer un titre de 80 caractères au maximum (une ligne à l'écran) **RETURN.**

Une fois le titre saisi, l'apparition de la ligne menu permet de modifier :
- les dimensions du graphique, exprimées en centimètres et initialisées à x = 15 cm et y = 10 cm
- la nature du symbole de report des rabattements mesurés (entrer le code chiffre correspondant) :

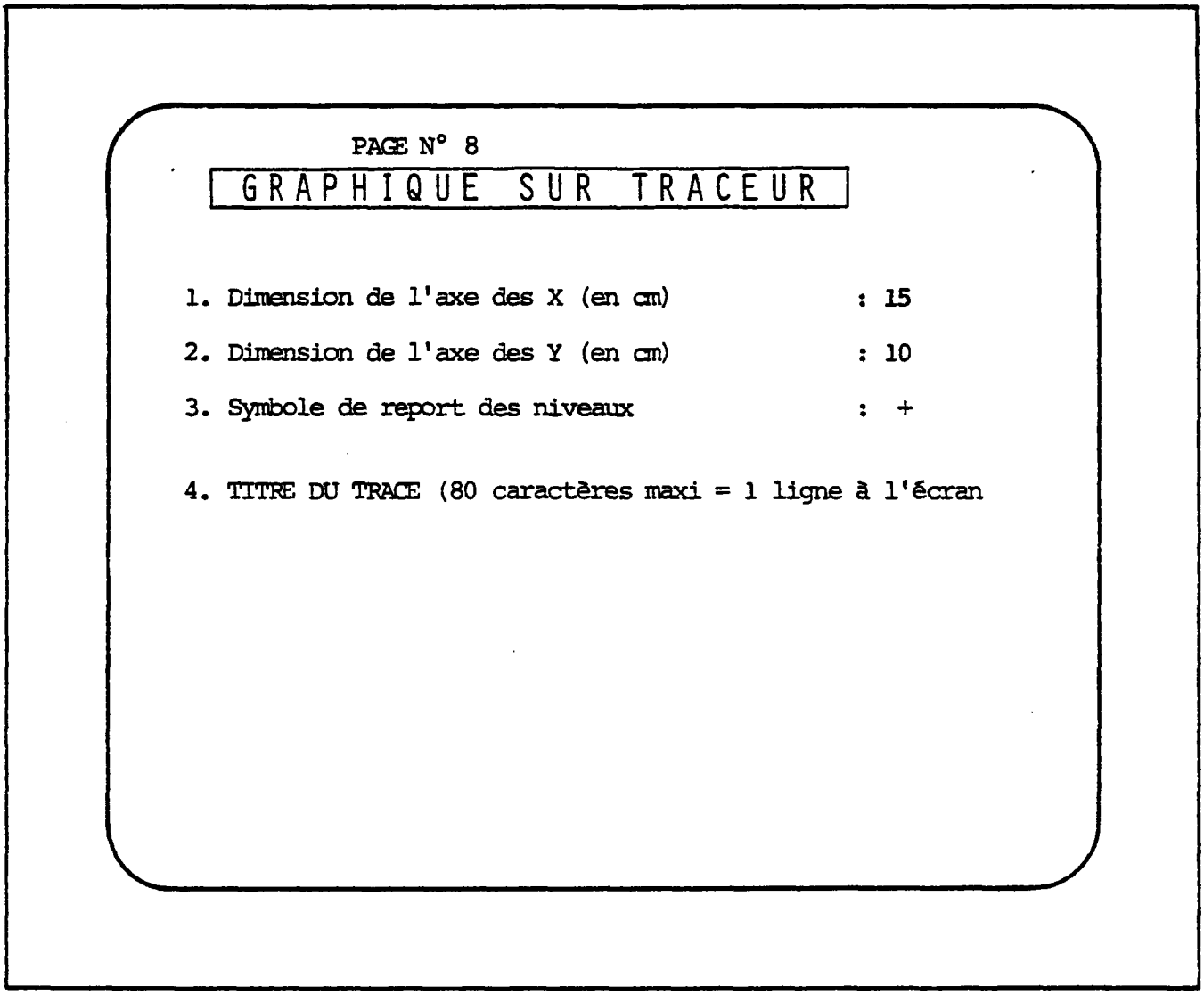

PAGE N° 8
GRAPHIQUE SUR TRACEUR
1. Dimension de l'axe des X (en cm) : 15
2. Dimension de l'axe des Y (en cm) : 10
3. Symbole de report des niveaux : +
4. TITRE DU TRACE (80 caractères maxi = 1 ligne à l'écran

Figure 5.16 - Envoi du dessin sur traceur

+	(1)	symbole initial
x	(2)	
o	(3)	
	(4)	
	(5)	
	(6)	
	(7)	

L'envoi sur traceur nécessite la création d'un fichier de données contenant l'ensemble du paramétrage du graphique. Une fois la page saisie, **RETURN** valide et permet de passer à la seconde partie de la page 08, consacrée au choix d'un nom pour le fichier de tracé.

A la question **ENTRER NOM.EXT,** répondre par un nom de fichier de la forme : XXXXX.EBA.

Une fois le fichier créé, le programme revient en attente au menu principal.

Nota :

Pour l'exécution du tracé, (procédure VAX du BRGM) sortir de ISAPE (cf. paragraphe V.2.10.10) et taper : BLANC XXXXX.EBA **RETURN.**

V.2.10.8 - Réponse : 7 RETURN

Cet option permet de passer au traitement d'un autre fichier de données.

Tous les paramètres sont réinitialisés et le programme revient à la page écran 00 (cf. paragraphe V.2.2).

V.2.10.9 - Réponse : 8 RETURN

Cet option permet l'édition à l'écran de l'ensemble des paramètres du dernier ajustement pour consultation.

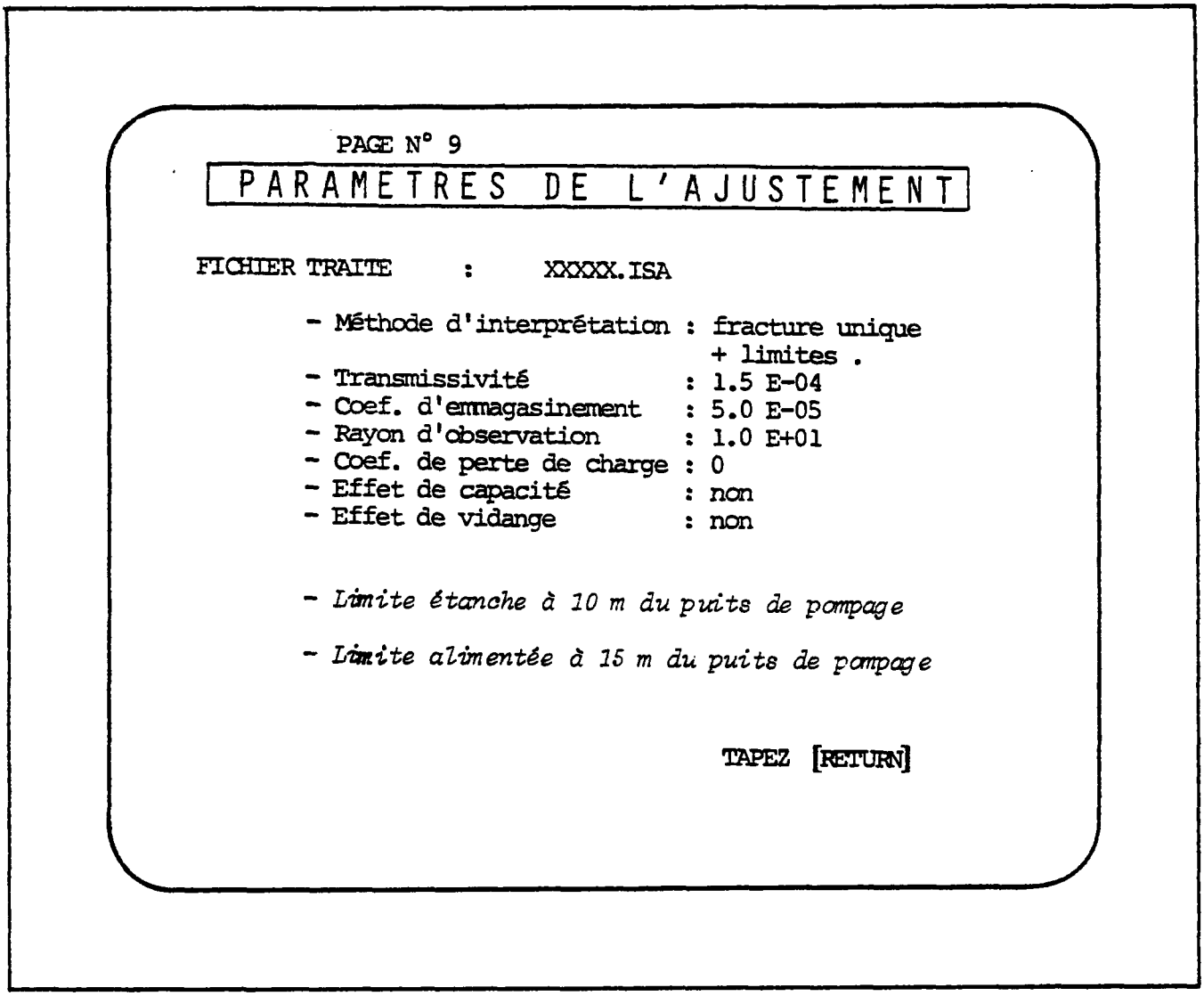

PAGE N° 9
PARAMETRES DE L'AJUSTEMENT
FICHIER TRAITE : XXXXX.ISA
- Méthode d'interprétation : fracture unique + limites .
- Transmissivité : 1.5 E-04
- Coef. d'emmagasinement : 5.0 E-05
- Rayon d'observation : 1.0 E+01
- Coef. de perte de charge : 0
- Effet de capacité : non
- Effet de vidange : non
- Limite étanche à 10 m du puits de pompage
- Limite alimentée à 15 m du puits de pompage
TAPEZ [RETURN]

Figure 5.17 - Rappel des paramètres de l'ajustement communs à toutes les méthodes d'interprétation

Deux types d'information sont fournies :

a) Paramètres généraux communs à toutes les méthodes d'interprétation (fig. 5.17)

. nom du fichier traité
. transmissivité
. coefficient d'emmagasinement
. rayon d'observation
. coefficient de perte de charge
. indication de la prise en compte de l'effet de capacité
. indication de la prise en compte de l'effet de vidange.

b) Paramètres propres à chaque méthode

. **Méthode 1** (méthode de **Theis**)

Aucun paramètre supplémentaire. **RETURN** renvoie au menu principal.

. **Méthode 2** (**Theis** + limite(s))

Pour chaque limite, affichage de sa nature et de sa distance au puits de pompage. **RETURN** renvoie au menu principal.

. **Méthode 3** (fracture unique)

RETURN permet de passer à la seconde partie de la page 09 (fig. 5.18) qui concerne la détermination de couples (Tx, S)* pour un calage donné et pour différentes valeurs du couple (Tx/Ty, xf)**.

La procédure est la suivante : choisir une nouvelle valeur du contraste de transmissivité Tx/Ty ≥ 1) et/ou une nouvelle valeur de la demi-longueur de fracture (xf ≥ 10 m).

(*) Tx : transmissivité horizontale dans l'axe de la fracture
S : coefficient d'emmagasinement
(**) Tx/Ty : contraste des transmissivités principales horizontales
xf : demi-longueur de fracture

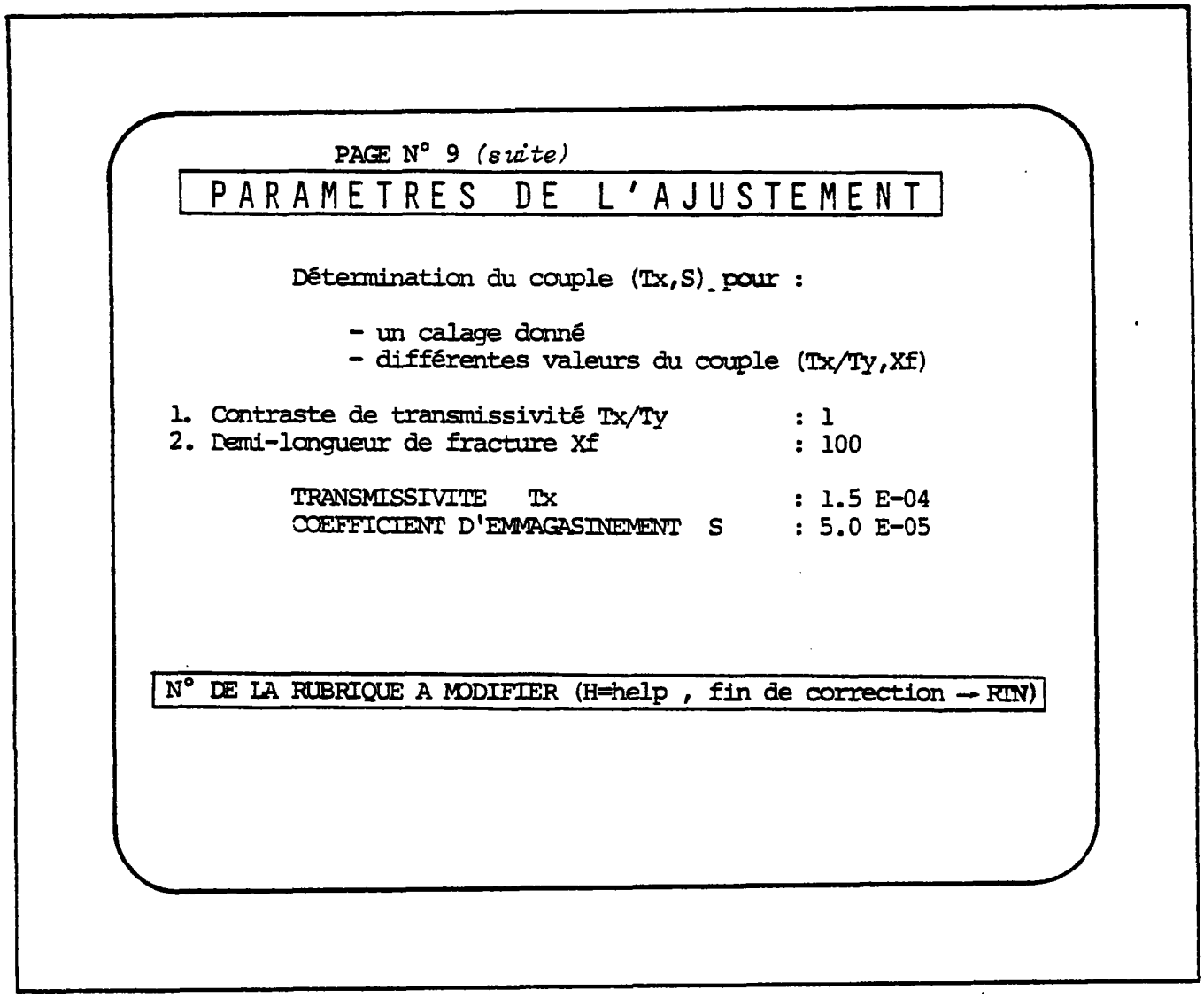

PAGE N° 9 (suite)
PARAMETRES DE L'AJUSTEMENT
Détermination du couple (Tx,S) pour :
- un calage donné
- différentes valeurs du couple (Tx/Ty,Xf)
1. Contraste de transmissivité Tx/Ty : 1
2. Demi-longueur de fracture Xf : 100
TRANSMISSIVITE Tx : 1.5 E-04
COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT S : 5.0 E-05
N° DE LA RUBRIQUE A MODIFIER (H=help , fin de correction → RTN)

Figure 5.18 - Paramètres de l'ajustement propres à la méthode de fracture unique

Le logiciel recalcule automatiquement les valeurs de Tx et S correspondant aux nouveaux paramètres Tx/Ty et xf ainsi qu'au calage tel qu'il apparaît à l'écran.

Une fois les essais terminés, **RETURN** renvoie au menu principal.

. **Méthode 4** (fracture unique + limite(s))

Idem méthode 2, puis méthode 3.

V.2.10.10 - Réponse 9 : RETURN

Permet de sortir du logiciel ISAPE.

a - **Rappel des paramètres de l'ajustement** (cf. paragraphe V.2.10.9).

b - **Rappel de l'identité de l'utilisateur** (nom, imputation) du temps CPU consacré à la mise en oeuvre d'ISAPE et du coût interne correspondant (procédure VAX du BRGM).

Fin du programme.

BIBLIOGRAPHIE

Gringarten (A.C.), Ramey (H.J.Jr), Raghavan (R.) 1974.- Unsteady-state pressure distribution created by a well with a single infinite conductivity vertical fracture.-Sco. Pet. Eny. J. p. 347-360.

Leblanc (Ph.) 1986.- Interprétation des pompages d'essai en milieu fracturé de socle. Evaluation des paramètres hydrodynamiques et de la géométrie de l'aquifère par méthode informatique. BRGM/dépt. EAU - Note technique n°86/13.

Leblanc (Ph.), Thiery (D.) 1985.- Solutions analytiques pour un pompage dans une fracture verticale unique - BRGM/dépt. EAU - Note technique n°85/14.

Theis (C.V.) 1935.- The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.- TAGU. p. 619-624.

Thiery (D.), VANDENBEUSCH (M.), VAUBOURG (P.) 1983.- Interprétation des pompages d'essai en milieu fissuré aquifère.- Doc. du BRGM n°57.

réalisation
service
reprographie
du BRGM